

ABSTRAK

MODIFIKASI DAN PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG TUNJUNGAN CRYSTAL HOTEL DENGAN SISTEM BALOK PRATEKAN

Beton pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal yang besar yang terdistribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Sistem pratekan atau tegangan internal diberikan kepada beton dengan jalan menarik tulangnya.

Gaya pratekan tidak konstan terhadap waktu. Tegangan-tegangan selama berbagai tahap pembebanan selalu berubah-ubah. Dalam struktur rangka gedung bertingkat dengan balok-balok dari beton pratekan, kehilangan pratekanan juga ditimbulkan oleh adanya gaya perlawanan dari komponen struktur lainnya, seperti kolom. Kondisi ini dialami terutama bergantung pada tahap-tahap pelaksanaan setiap tingkat bangunan dan setiap tahap *jacking*.

Kekuatan batas penampang beton pratekan yang mengalami lenturan ditentukan berdasarkan persyaratan indeks tulangan global minimum dan juga beban terfaktor yang dihasilkan paling sedikit sebesar 1,2 kali beban retak yang dihitung berdasarkan modulus runtuh.

Untuk mendapatkan perilaku yang cukup daktail dari beton pratekan dan tetap dihasilkan desain struktur yang praktis dan ekonomis secara keseluruhan, maka perencanaan ini didasarkan pada tingkat daktilitas terbatas. Hal ini juga mengingat struktur gedung yang memiliki bentang-bentang balok yang relatif panjang.

DAFTAR NOTASI

- a = Tinggi blok persegi tegangan beton ekivalen.
- Ac = Luas penampang beton.
- Ag = Luas bruto penampang.
- Aps = Luas tendon pratekan.
- As = Luas tulangan tarik non pratekan.
- As' = Luas tulangan tekan.
- Ast = Luas tulangan total tulangan longitudinal.
- Asv = Luas tulangan geser.
- AUC = Variasi harga *creep* terhadap waktu, dapat dilihat pada Tabel 5.4.
- AUS = Variasi susut terhadap waktu, harganya dapat dilihat pada Tabel 5.6.
- Av = Luas tulangan geser.
- b = Lebar dari muka tekan komponen struktur.
- b_E = Lebar efektif balok pada penampang T dan L.
- b_j = Lebar efektif join balok kolom, mm.
- bo = Keliling dari penampang kritis pada pelat dan pondasi.
- b_w = Lebar badan balok.
- C_{n1} = Harga rata-rata konus, dihitung mulai dari ujung tiang sampai 3 D ke bawah.
- C_{n2} = Harga rata-rata konus minimum dihitung mulai ujung tiang sampai 3 D ke bawah.
- C_{n3} = Harga rata-rata konus minimum, dihitung mulai dari ujung tiang sampai 8 D ke atas.
- Cr = Kekuatan kohesi rencana (kg/m²).
- = 0,5 Cu

- C_t = Jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke serat tekan terluar atas.
- C_b = Jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke serat tarik terluar bawah.
- C_u = Kekuatan kohesi tanah lempung.
- d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik pusat tulangan tarik.
- D = Lebar / diameter tiang (m)
- D_L = Beban mati, dapat berupa momen (M_{DL}), beban terbagi rata (q_{DL}).
- d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik pusat tulangan tarik.
- d' = Jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tekan.
- d_b = Diameter nominal dari batang tulangan.
- dc = Tebal selimut beton.
- e_o = Jarak gaya pratekan ke garis netral beton (C_{gc}).
- E_c = Modulus elastisitas beton.
- EI = Kekakuan lentur komponen struktur tekan.
- EI/L_u = Faktor kekakuan kolom atau balok yang ditinjau.
- E_s = Modulus elastisitas tulangan (= 200000 MPa).
- F_1 = Gaya pratekan pada angker hidup.
- F_2 = Gaya pratekan pada angker mati.
- F = gaya pratekan efektif (= F_e)
 $= \eta F_i \left(\eta = \frac{f_{pe}}{f_{pi}} = 0,75 - 0,85, \text{ A. E. Naaman psl 8.9} \right)$
- f_c' = Kuat tekan beton karakteristik umur 28 hari, yang didapatkan dari uji tekan silinder.
- f_{cir} = Tegangan dalam beton pada C_{gs} selama beban F_o .
- f_{ck}' = Kuat tekan beton karakteristik umur 28 hari yang didapatkan dari uji tekan kubus bersisi 15 cm.
- F_i = Gaya pratekan awal pada saat transfer.

- f_p = Kuat leleh yang disyaratkan dari tendon pratekan.
 f_r = Modulus keruntuhan lentur dari beton.
 f_y = Kuat leleh yang disyaratkan dari tulangan non pratekan.
 g = Intensitas dari slip angker.
 $g = 1/E_p \int_0^x \sigma_p \cdot dx \dots\dots\dots (5.11)$
 h = Tinggi total dari komponen struktur.
 h = Tebal dinding geser.
 h_e = Tinggi efektif join balok-kolom.
 h_w = Tinggi total dinding geser.
 H_o = Gaya lateral rencana per diameter tiang (kg/m)
 I = Momen inersia penampang.
 JHP = Jumlah hambatan pelek (kg/cm²).
 k = Faktor panjang tekuk (untuk kolom).
 $k = 0,8$ (dikekang terhadap rotasi pada kedua ujung), (untuk dinding geser).
 K = Koefisien *wobble effect*.
 k_b = Kern bawah (= Z_t / A_c).
 k_b' = Kern bawah pada kondisi tarik masih diijinkan.
 k_t = Kern atas (= Z_b / A_c).
 k_t' = Kern atas pada kondisi tarik masih diijinkan.
 L = Panjang penunjang tiang.
 l_w = Lebar dinding geser.
 l_{db} = Panjang penyaluran dasar dari tulangan.
 l_{dh} = Panjang penyaluran kait standart hook dari tulangan.
 l_n = Panjang bentang bersih, diukur dari muka ke muka tumpuan.

- L_L = Beban hidup, dapat berupa momen (M_{LL}), beban terbagi rata (q_{LL}).
- l_u = Panjang struktur tekan yang tidak ditopang.
- m = Jumlah baris pondasi tiang pancang.
- M_{1b} = Nilai yang lebih kecil dari momen ujung berfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping, positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal dan negatif untuk kelengkungan ganda.
- M_{2b} = Nilai yang lebih besar dari momen ujung berfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping, positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal dan negatif untuk kelengkungan ganda.
- M_{2s} = Nilai yang lebih besar dari momen ujung berfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping.
- M_c = Momen rencana kolom setelah diperbesar.
- MCF = Faktor pengaruh dari umur beton dan lama *curing*, harganya dapat dilihat pada Tabel 5.3.
- M_{cr} = Momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar.
- M_n = Kuat momen nominal pada suatu penampang.
- M_o = Momen luar pada ujung tiang dalam kg m/m.
- M_u = Momen berfaktor pada penampang.
- M_x = Momen yang terjadi pada arah x.
- M_y = Momen yang terjadi pada arah y.
- n = Perbandingan antara modulus elastisitas baja dengan modulus elastisitas beton pada saat transfer.
= E_s / E_{ci}
- n = Banyaknya tiang dalam kelompok tiang.

O = Keliling tiang pancang (cm).

PCR = Besarnya *creep* tiap-tiap interval waktu.

$$= (AUC)_t - (AUC)_{t_1}$$

P_{max} = Beban maximum yang diterima 1 tiang pancang.

ΣPu = Jumlah total beban aksial yang bekerja pada tiang (termasuk berat poer).

Pnb = kekuatan nominal kolom akibat momen dua arah.

Pno = kekuatan nominal kolom akibat beban aksial konsentris.

Pnx = kekuatan nominal kolom arah x.

Pny = kekuatan nominal kolom arah y

PSH = Banyaknya *shrinkage* untuk tiap-tiap interval waktu.

$$= (AUS)_t - (AUS)_{t_1}$$

Qc = Daya dukung akibat perlawanan ujung.

Qs = Daya dukung akibat lekatan sepanjang keliling tiang.

r = Radius girasi suatu penampang tekan.

R = Tegangan tanah lateral yang diijinkan.

$$= 1500 \text{ kg/cm/m (untuk tanah lempung lunak).}$$

s = Spasi dari sengkang.

s_1 = Spasi dari tulangan vertikal dalam dinding.

s_2 = Spasi dari tulangan geser atau torsi tegak lurus terhadap tulangan longitudinal atau spasi dari tulangan horisontal dalam dinding.

SCF = Faktor pengaruh dari ukuran dan bentuk balok pratekan, harga SCF dapat dilihat pada Tabel 5.2.

SF_1 = *Safety factor* terhadap perlawanan ujung = 3

SF_2 = *Safety factor* terhadap hambatan lekat = 5

- SSF = Faktor pengaruh ukuran dan bentuk dari balok, nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.5.
- T_c = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton.
- T_s = Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan tulangan torsi.
- T_n = Kuat momen torsi nominal total.
- V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton.
- V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan sengkang.
- V_n = Kuat geser nominal total.
- x_1 = jarak pusat ke pusat terpendek dari suatu sengkang tertutup
- X_{max} = Absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang.
- ΣX^2 = Jumlah dari kuadrat absis tiap tiang.
- y_1 = jarak pusat ke pusat terpanjang dari suatu sengkang tertutup
- Y_{max} = Ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang.
- ΣY^2 = Jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang.
- z = Besaran pembatas distribusi tulangan lentur.
- Z_t = Momen kelembaman atas ($= I / C_t$).
- Z_b = Momen kelembaman bawah ($= I / C_b$).
- α = Rasio dari kekakuan lentur penampang balok terkekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis sumbu dari panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok.
- α = Perubahan sudut C_{gs} (radian) (untuk balok pratekan).
- α_m = Nialai rata-rata dari α untuk semua balok pada tepi dari suatu panel.
- β = Rasio dari bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.
- β_o = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat / muka tumpuan.

- β_d = Nilai mutlak rasio antara momen max akibat beban mati berfaktor terhadap momen maksimum akibat beban total berfaktor.
- β_s = Rasio dari panjang tepi yang menerus terhadap perimeter total dari suatu panil pelat.
- δ_b = Faktor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping.
- δ_s = Faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping.
- ϕ = Faktor reduksi kekuatan.
- ϕ = Arc tg (D/s) dalam derajat (untuk pondasi).
- ρ = Rasio tulangan tarik non pratekan.
- ρ' = Rasio tulangan tekan non pratekan.
- ρ_b = Rasio tulangan non pratekan yang memberikan kondisi regangan berimbang.
- ρ_s = Rasio dari volume tulangan spiral terhadap volume inti total.
- ρ_p = Rasio tulangan pratekan.
- σ_{ci} = Tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat awal.
 $= 0,6 \cdot f_{c_i}'$
- σ_{cs} = Tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat beban service.
 $= 0,45 \cdot f_{c_i}'$
- σ_o = Tegangan sebelum slip.
- $\sigma_o \cdot g$ = Tegangan setelah slip.
- σ_g = Tegangan yang bekerja pada titik berat beton akibat gaya pratekan awal.
- σ_{gi} = Tegangan yang bekerja pada titik berat beton akibat gaya pratekan akhir.
- σ_p = $g \cdot E_p$
- σ_{ti} = Tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat awal.

$$= 0,25 \cdot \sqrt{f_{c_i}'}$$

σ_{ts} = Tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat beban service.

$$= 0,5 \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$\omega = \rho \cdot f_y / f_c'$$

$$\omega' = \rho' \cdot f_y / f_c'$$

$$\omega_p = \rho_p \cdot f_{ps} / f_c'$$

ψ = Tingkat penjepitan ujung kolom.

BAB II

DASAR - DASAR PERENCANAAN

2.1. DATA BANGUNAN

2.1.1. Data Umum Bangunan

Gedung Tunjungan Crystal Hotel adalah gedung dengan 12 lantai, yang terdiri dari lantai dasar pada basement untuk parkir, lantai pertama untuk lobby dan management office, 5 lantai typical untuk kamar-kamar hotel, 1 lantai untuk kamar hotel executive, 1 lantai roof, serta untuk keperluan rental pada lantai lainnya. Konstruksi bangunan tersebut menggunakan sistem beton bertulang.. Jarak antara kolom satu dengan yang lain bervariasi antara 4 meter dan 8 meter. Masing-masing lantai mempunyai ketinggian 4 meter, hanya pada basement yang mempunyai ketinggian 3 meter.

2.1.2. Data Teknis Bangunan

Tunjungan Crystal Hotel yang akan direncanakan (setelah dimodifikasi) mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Nama gedung	: Tunjungan Crystal Hotel
Jumlah lantai	: 11 lantai dan 1 lantai Basement
Luas per lantai	: 2464 m ² .
Tinggi gedung	: 43,00 m.
Rencana bahan	: Struktur beton Bertulang Biasa dan Struktur beton Pratekan.
Fungsi	: Perhotelan

Pondasi	: Tiang pancang. Wika
Kondisi tanah	: Tanah lunak.
Zone gempa	: Zone 4 (empat).
Daktilitas	: Tingkat 2

2.2. PERATURAN DAN STANDAR BANGUNAN

Perencanaan gedung ini sepenuhnya berpijak pada peraturan-peraturan dan standar bangunan yang berlaku di Indonesia. Beberapa pedoman bangunan yang ada juga digunakan di sini sebagai segi praktisnya. Berikut ini adalah peraturan-peraturan yang dipakai :

- ♦ Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI '71).
- ♦ Tata Cara Perhitungan struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03).
- ♦ Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPI '83).
- ♦ Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung 1983 (PPTGIUG '83).
- ♦ Peraturan Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983.
- ♦ Peraturan-peraturan lainnya yang terkait.

2.3. PEMBEBANAN

Jenis pembebanan yang ikut diperhitungkan dalam perencanaan gedung adalah beban vertikal dan beban horizontal. Pada tahap analisa gaya-gaya dalam pada struktur utama, dilakukan pembebanan dengan beberapa kombinasi pembebanan sesuai dengan ketentuan yang terdapat dalam SK SNI 1991.

2.3.1. Beban Vertikal

2.3.1.1. Beban Mati (PPI ' 83 Pasal 1.1)

Beban mati ini mencakup semua bagian dari struktur gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian- penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu. Selanjutnya beban mati ini dihitung berdasarkan Tabel 2.1 PPI 1983.

2.3.1.2. Beban Hidup (PPI ' 83 Pasal 1.2)

Mencakup semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak dapat dipisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap kedalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh butiran air.

Adapun yang termasuk beban hidup dalam perencanaan gedung ini adalah :

Lantai kamar hotel	= 250 kg / m ²
Lantai ruang pertemuan	= 400 kg / m ² .
Tangga, bordes dan gang	= 300 kg / m ² .
Lantai gudang, ruang arsip	= 400 kg / m ² .
Lantai ruang mesin	= 400 kg / m ² .
Atap	= 100 kg / m ²

2.3.2. Beban Horizontal

2.3.2.1. Beban Angin (PPI ' 83 Pasal 1.3)

Mencakup semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Dalam perencanaan ini beban horisontal akibat tekanan angin diabaikan, karena pengaruhnya relatif kecil dibandingkan dengan beban horisontal akibat gempa.

2.3.2.2. Beban Gempa (PPI ' 83 Pasal 1.4)

Mencakup semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang meniru pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam perencanaan ini pengaruh gempa terhadap struktur gedung ditentukan berdasarkan analisa secara dinamis. Dengan menganalisa gedung secara 3 dimensi menggunakan metode Respons Spektrum analisis, di mana gedung dikenakan spectrum percepatan respons gempa rencana yang dihitung menurut diagram koefisien gempa dasar C untuk Zone gempa 4.

2.3.3. Kombinasi Pembebanan

Sesuai dengan ketentuan yang telah tercantum pada SK SNI T-15-1991, agar supaya struktur dan komponen dari struktur memenuhi syarat dan kekuatan yang laik pakai terhadap bermacam-macam kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi pada bangunan ini, maka harus dipenuhi ketentuan dari faktor pembebanan sebagai berikut :

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,05 (D + LR \pm KE)$$

$$U = 0,9 (D \pm KE)$$

2.4. METODE ANALISA DAN PERHITUNGAN

Untuk analisa struktur pada gedung ini ada beberapa cara yang digunakan antara lain :

- ♦ Pada perhitungan gaya-gaya dalam pelat lantai dan pelat atap yang berbentuk persegi digunakan koefisien momen dari PBI 1971 pasal 13.3 dan tabel 13.3.2. Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dari balok anak dan beberapa unsur sekunder digunakan bantuan paket program SAP'90, sedangkan untuk penulangannya berdasarkan SK SNI T-15-1991.
- ♦ Untuk analisa statis dan dinamis struktur utama digunakan analisa 3 (tiga) dimensi dengan bantuan paket program SAP'90. Struktur utama ini dimodelkan sebagai struktur Open Frame 3 dimensi (Space Frame). Karena kekakuan dalam arah bidang (in plane) dari kebanyakan lantai beton cukup tinggi, maka lantai beton tersebut dapat dimodelkan sebagai rigid floor diaphragma.

Untuk pemodelan dengan cara rigid floor diaphragma ini, massa dari tiap-tiap lantai dapat diasumsikan terpusat pada satu nodal atau master joint (lumped mass parameter). Cara ini sangat bermanfaat dalam mengurangi jumlah persamaan sehingga akan meningkatkan jumlah kemampuan dari komputer untuk memecahkan berbagai masalah.

Paket program SAP'90 disini digunakan untuk membantu pelaksanaan perhitungan. Khususnya dalam analisa struktur utama, dengan melakukan analisa statis maupun analisa dinamis, dengan cara mengambil beberapa asumsi serta pemodelan struktur sebagai berikut:

- ♦ Pelat-pelat lantai diasumsikan sebagai diaphragma yang sangat kaku dalam bidangnya sehingga mampu menyalurkan gaya-gaya lateral akibat pengaruh gempa kepada komponen-komponen penahan gaya mendatar, di samping memikul beban-beban gravitasi terhadap bidangnya.
- ♦ Sistem rangka struktur dimodelkan sebagai rangka terbuka (open frame) dan dianalisa sebagai model tiga dimensi, di samping memikul beban-beban statis juga diproporsikan untuk mengantisipasi pengaruh-pengaruh beban lateral.

2.5. PERENCANAAN TERHADAP GEMPA

Untuk konfigurasi denah struktur gedung tidak beraturan (asimetris), dalam PPTGIUG 1983 pasal 3.5 menyebutkan bahwa untuk gedung yang bentuknya tidak beraturan, harus dilakukan suatu analisa dinamik yang didasarkan atas perilaku struktur yang bersifat elastis penuh terhadap beban gempa.

Metode penyelesaian yang dipakai dalam analisa dinamis pada perencanaan gedung adalah metode Respons Spectrum Analysis, dimana pada gedung akan dikenakan spectrum percepatan respons gempa rencana yang dihitung menurut diagram koefisien gempa dasar C yang dirancang untuk wilayah gempa 4 dengan struktur diatas tanah lunak.

2.5.1. Pengertian Daktilitas

Sesuai dengan filosofi perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia menurut PPTGIUG 1983 bahwa perencanaan dari suatu struktur gedung pada daerah gempa haruslah menjamin struktur bangunan tersebut agar tidak rusak/runtuh oleh gempa kecil atau sedang, tetapi untuk gempa yang kuat struktur utama boleh rusak, tetapi tidak boleh sampai terjadi keruntuhan gedung.

Hal ini dapat dicapai jika struktur gedung tersebut mampu melakukan perubahan bentuk secara daktil, dengan cara memencarkan energi gempa serta membatasi gaya gempa yang bekerja padanya. Melelehnya elemen-elemen struktur akibat gempa kuat, ditandai dengan terbentuknya sejumlah sendi plastis. Jadi sesungguhnya pada fase ini perilaku struktur tidak lagi bersifat linier. Suatu ukuran bagi kemampuan struktur untuk menyimpan dan memencarkan energi adalah perbandingan antara simpangan maximum (Δu) dan simpangan awal pada suatu kelelahan pertama (Δy) yang disebut sebagai faktor daktilitas (μ). Untuk menjamin tersedianya daktilitas yang cukup dalam struktur tersebut harus dipenuhi syarat- syarat pendetailan yang diatur dalam buku Pedoman Perencanaan Tahan Gempa untuk Gedung 1983.

2.5.2. Tingkat Daktilitas

Pada SK SNI T-15-1991 pasal 3.14.1. tingkat daktilitas diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Tingkat Daktilitas 1.

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail pada struktur bangunan sangat sedikit (struktur sepenuhnya elastis). Beban rancang lateral dasar harus dikalikan dengan suatu faktor Type Struktur (K) sebesar 4.

b. Tingkat Daktilitas 2.

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respons inelastis terhadap beban siklis yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan getas. Beban rancang lateral harus dikalikan 2.

c. Tingkat Daktilitas 3.

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respons in-elastis terhadap beban siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami keruntuhan. Beban rancang lateral dikalikan 1.

2.5.3. Dasar-dasar Pemilihan Tingkat Daktilitas Dua

Bila suatu gedung direncanakan dengan tingkat daktilitas 1, maka beban gempa yang direncanakan adalah 4 kali beban gempa yang dihitung sesuai dengan analisa respons spektrum. Karena besarnya beban gempa tersebut, maka dimensi penampang menjadi sangat besar, sehingga perencanaan bangunan menjadi tidak ekonomis.

Perencanaan dengan tingkat daktilitas 3 (daktilitas penuh) akan memerlukan prosedur design yang lebih kompleks dan rumit karena harus menghitung kapasitas dari struktur tersebut (metode design kapasitas). Selain itu untuk mencapai nilai daktilitas yang disyaratkan, dibutuhkan

pengaturan pemasangan penulangan yang cukup rumit pada tempat-tempat sendi plastis yang diharapkan akan terjadi.

Karena kompleksnya daktilitas penuh ini, maka dikembangkanlah perencanaan dengan daktilitas terbatas.

Pada struktur dengan daktilitas dua (terbatas), faktor daktilitasnya adalah 2, artinya beban gempa hanya dikalikan 2 sehingga tuntutan daktilitas untuk mengatasi gempa-gempa kuat yang melampaui taraf gempa rencana tidak sebesar perencanaan pada struktur dengan menggunakan daktilitas penuh. Dengan kata lain syarat-syarat pendetailan yang dituntut akan menjadi lebih longgar dibandingkan dengan daktilitas penuh. Tetapi sebagai konsekuensinya adalah faktor jenis struktur untuk menghitung gaya geser dasar menjadi lebih besar.

2.5.4. Perencanaan Dengan Tingkat Daktilitas Dua

Perencanaan struktur dengan tingkat daktilitas 2 diatur dalam SK SNI T-15-1991 pasal 3.14.9. dengan memenuhi bab-bab sebelumnya.

Persyaratan Umum.

- ♦ Gaya tekan aksial berfaktor yang bekerja pada komponen struktur tidak melebihi sepersepuluh ($1/10$) $A_g f_c'$.
- ♦ Bentang bersih dari komponen struktur rangka terbuka tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.
- ♦ Rasio lebar dan tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,25.
- ♦ Lebar balok tidak boleh kurang dari 200 mm.
- ♦ Rasio tinggi antar kolom terhadap dimensi penampang kolom terpendek tidak boleh lebih besar dari 25.
- ♦ Faktor tipe struktur yang dipakai harus diambil sama dengan 2 ($K=2$)

Persyaratan Khusus.

- ♦ Rasio tulangan longitudinal total tidak boleh kurang dari 1 % dan tidak boleh lebih dari 6 %.
- ♦ Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup tunggal ataupun majemuk.
- ♦ Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh lebih dari $d/4$, sepuluh kali dari diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali dari diameter sengkang dan 300 mm.
- ♦ Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- ♦ Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi $1/2$ dimensi terkecil dari suatu komponen struktur yang menerima lentur, atau 10 kali diameter tulangan memanjang dan harus lebih kecil dari 200 mm.
- ♦ Pada daerah sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam SK SNI T-15-1991 pasal 3.4.

2.6. DESAIN PENDAHULUAN

Rencana bahan struktur adalah beton yang terdiri dari beton bertulang biasa dan beton pratekan (Prestress). Mutu beton yang digunakan untuk sistem beton bertulang adalah beton dengan kuat tekan rata-rata $f_c' = 24,6$ MPa. Kuat tarik leleh untuk tulangan baja yang digunakan adalah $f_y = 320$ MPa. Khusus untuk sistem beton pratekan, tendon yang digunakan adalah dari sistem kawat untai VSL dengan mutu beton $f_c' = 33,80$ MPa. Setelah rencana bahan-bahan struktur pokok ditentukan, tahap berikutnya dalam desain pendahuluan ini adalah merancang sistem pembalokan pada setiap lantai berdasarkan tuntutan denah arsitektur.

Hasil rancangan yang berupa skema balok pada setiap elevasi lantai dapat dilihat pada halaman terlampir. Desain pendahuluan untuk dimensi setiap komponen bangunan akan diuraikan lebih lanjut pada setiap awal dari pembahasan perencanaan komponen bangunan yang bersangkutan.

BAB III

PERENCANAAN PELAT

3.1. KRITERIA DESAIN

Besarnya rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendek mengakibatkan pelat-pelat terbagi kedalam dua kategori, yaitu sistem pelat satu arah dan sistem pelat dua arah.

Hal ini menentukan arah penulangan lentur yang akan dipasang.

♦ Mutu beton (K 300)

$$f_c'k = 300 \text{ Kg / cm}^2 = 30 \text{ MPa}$$

Berdasarkan SK SNI T-15-1991 kuat tekan beton pada umur 28 hari dari hasil test silinder yaitu :

$$\begin{aligned} f_c' &= [0,76 + 0,2 \log (f_c'k / 15)] f_c'k \\ &= [0,76 + 0,2 \log (30 / 15)] 30 \\ &= 24,6 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

♦ Mutu baja (U 32) :

$$\begin{aligned} f_y &= 3200 \text{ Kg / cm}^2 \\ &= 320 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

♦ Modulus Elastisitas beton :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{24,6} = 23311,24 \text{ MPa} \\ &= 2,3311 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

3.2. DESAIN PELAT

Di dalam SK SNI T-15-1991 pasal 3.2.5.3 menjelaskan :

tebal minimum pelat dua arah :

$$h_1 = \frac{\text{Ln} \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} \quad [\text{Pers. 3.2 - 12}]$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h_2 = \frac{\text{Ln} \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 9\beta} \quad [\text{Pers. 3.2 - 13}]$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h_3 = \frac{\text{Ln} \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} \quad [\text{Pers. 3.2 - 14}]$$

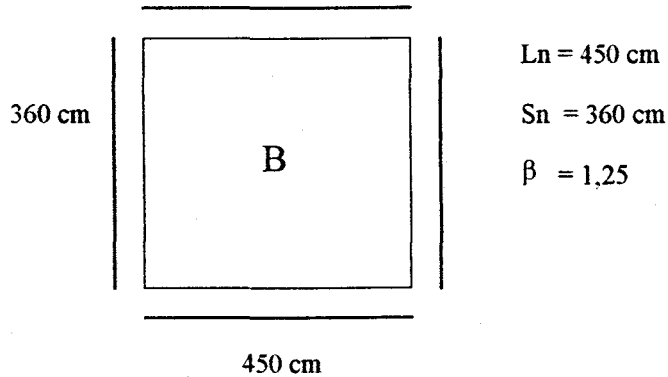
Di dalam persamaan-persamaan di atas terdapat notasi Ln (yaitu bentang bersih pelat) dan notasi β (yaitu rasio antara bentang bersih pelat arah memanjang terhadap arah memendek).

3.2.1. Tebal Pelat

Dari ketiga persamaan di atas, ternyata batasan tebal minimum dari pelat yang dihitung berdasarkan persamaan [3.2-12], jauh lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan persamaan [3.2-13]. Sehingga untuk perhitungan tebal minimum pelat selanjutnya menggunakan batasan persamaan [3.2-13].

Contoh perhitungan tebal minimum dan maksimum diambil dari type pelat yang mempunyai ukuran paling besar :

Type Pelat B



Tebal pelat minimum :

$$h_2 = \frac{L_n \left[800 + \frac{f_y}{1,5} \right]}{36000 + 9000\beta} = \frac{4500 \left[800 + \frac{320}{1,5} \right]}{36000 + 9000 \times 1,25} = 96,5 \text{ mm}$$

Tebal pelat maksimum :

$$h_3 = \frac{L_n \left[800 + \frac{f_y}{1,5} \right]}{36000} = \frac{4500 \left[800 + \frac{320}{1,5} \right]}{36000} = 127 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tebal pelat minimum dan maksimum serta memperhatikan PBI'71, maka dapat diambil tebal pelat rencana sebagai berikut:

- Tebal pelat lantai = 120 mm.
- Tebal pelat atap = 100 mm.
- Tebal pelat basement = 160 mm

3.3. PEMBEBANAN PADA PELAT

Pembebanan pada pelat dilakukan berdasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983. Adapun beban-beban yang bekerja :

♦ PELAT ATAP :

A. Beban mati

- Berat sendiri pelat = $0,10 \times 2400$	= 240 kg/m^2
- Berat plafon dan penggantung [$11 + 7$]	= 18 kg/m^2
- Aspal weather coating [$t=1\text{cm}$]	= 14 kg/m^2
- Finishing [1cm]	= 21 kg/m^2
- Ducting AC + pipa-pipa	= <u>40 kg/m^2</u> +
DL	= 333 kg/m^2

B. Beban hidup

- Beban pekerja	= 100 kg/m^2
- Beban air hujan	= <u>20 kg/m^2</u> +
LL	= 120 kg/m^2

C. Beban Ultimate

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$U = 1,2 \times 333 + 1,6 \times 120$$

$$= 591,6 \text{ kg/m}^2$$

♦ PELAT LANTAI

A. Beban mati

- Berat sendiri pelat = $0,12 \times 2400$	= 288 kg/m^2
- Berat plafon dan penggantung [$11 + 7$]	= 18 kg/m^2

$$\text{- Spesi dan tegel} = 3 \times [21 + 24] = 135 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Ducting AC + pipa-pipa} = \underline{40 \text{ kg/m}^2}$$

$$\text{DL} = 481 \text{ kg/m}^2$$

B. Beban hidup

$$\text{- hotel} \quad \text{LL} = 250 \text{ kg/m}^2$$

C. Beban Ultimate

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$U = 1,2 \times 481 + 1,6 \times 250$$

$$= 977,2 \text{ kg/m}^2$$

♦ PELAT LANTAI RUANG PERTEMUAN/GUDANG/RUANG MESIN :

A. Beban mati :

$$\text{DL} = 481 \text{ kg/m}^2$$

B. Beban hidup untuk ruang pertemuan/gudang/ruang mesin :

$$\text{LL} = 400 \text{ kg/m}^2$$

C. Beban Ultimate

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times 481 + 1,6 \times 400$$

$$= 1217,2 \text{ kg/m}^2$$

3.4. PERMODELAN DAN ANALISA PELAT

Untuk menganalisa pelat dalam perencanaan ini, pelat dianggap terjepit elastis pada keempat sisinya dikarenakan pada tepi-tepi pelat tersebut (baik yang menerus maupun tidak menerus) dimungkinkan akan terjadinya perputaran dan momen lapangan yang timbul akan

mendekati momen tumpuannya (khusus untuk pelat yang ditumpu pada keempat sisinya).

Pertimbangan permodelan ini adalah bila pelat dianggap jepit penuh pada keempat sisinya maka momen-momen yang terjadi sebagian besar akan diterima oleh tumpuannya sedang momen lapangan yang timbul lebih kecil, padahal dalam keadaan sesungguhnya tepi pelat dapat berputar yang dikarenakan pengaruh pembebanan yang tidak merata pada tiap-tiap lantai. Kejadian ini juga dapat disebabkan karena mengingat dimensi dari balok pendukung tidak kaku dibandingkan dengan kekakuan pelat.

Untuk pelat-pelat persegi empat yang dibebani oleh beban mati (tanpa beban tembok) dan beban hidup, koefisien-koefisien momen diambil dari Tabel 13.3.1 PBI' 71, sedangkan pelat-pelat yang dibebani oleh beban mati ditambah beban tembok dan beban hidup, analisa perhitungan dilakukan dengan bantuan paket program SAP90, dimana pemodelan pelat sebagai shell dan beban tembok dianggap sebagai beban garis.

3.5. PERENCANAAN PENULANGAN PELAT

Kuat rancang yang tersedia menurut SK SNI T-15-1991 harus diambil sebagai kekuatan nominal yang disyaratkan dengan dikalikan suatu faktor reduksi kekuatan [ϕ]. Pada kasus pelat sebagai penampang lentur, kekuatan nominal diperhitungkan pada setiap arah beban lentur.

Pada kondisi balance di mana $\beta_1 = 0,85$ untuk $f_c' = 24,6 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$, persentase dari tulangan adalah :

$$\rho_b = \frac{0.85}{f_y} f_c' \beta_1 \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 24,6 \times 0,85}{320} \left[\frac{600}{600 + 320} \right]$$

$$\rho_b = 0,03622$$

Berdasarkan SK SNI T-15-1991 untuk menjamin pola keruntuhan yang daktil di dalam beban lentur, persentase tulangan maksimum adalah :

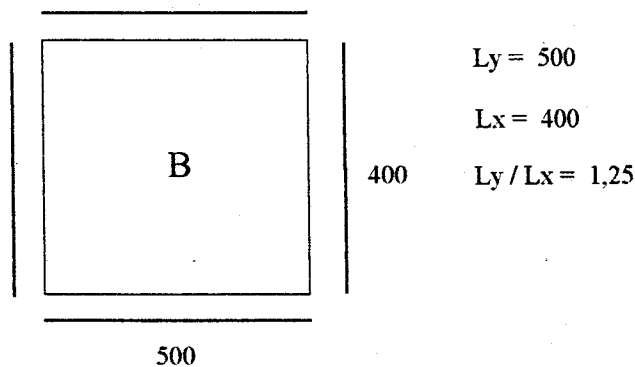
$$\begin{aligned}\rho_{\text{maks}} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,03622 \\ &= 0,027\end{aligned}$$

Sedangkan persentase tulangan minimum adalah :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

Contoh perhitungan penulangan pelat,

Pada pelat tipe B:



Langkah - langkah serta perhitungan penulangan pelat :

1. Menentukan syarat-syarat tumpuan pelat, panjang bentang dan tebal dari pelat Seperti telah diuraikan pada bagian sebelumnya bahwa pelat dalam hal ini tertumpu secara terjepit elastis pada keempat sisinya. Sedangkan panjang bentang diambil bentang teoritis, di mana bentang teoritis untuk pelat yang monolit dengan struktur pendukungnya adalah jarak antara pusat balok ke pusat balok lainnya yang mengapit pelat tersebut. Untuk tebal pelat seperti yang telah dihiutng di bagian lain dalam bab ini adalah sebesar 10 cm.

2. Menentukan beban ultimate dipikul oleh pelat.

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 \times 333 + 1,6 \times 120 \\
 &= 591,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Menghitung momen-momen yang timbul pada pelat

Untuk menghitung momen-momen pelat berdasarkan pada tabel 13.3.2. PBI'71. Dari hasil perbandingan L_y dan L_x yaitu sebesar 1,25, dari tabel tersebut di dapat harga-harga sebagai berikut :

$$M_{Lx} = -M_{tx} = 0,001 q_u L_x^2 C_x \quad C_x = 48$$

$$\begin{aligned}
 M_{Lx} = -M_{tx} &= 0,001 \times 591,6 \times 4^2 \times 48 \\
 &= 454,35 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$M_{Ly} = -M_{ty} = 0,001 q_u L_x^2 C_y \quad C_y = 38$$

$$\begin{aligned}
 M_{Ly} = -M_{ty} &= 0,001 \times 591,6 \times 4^2 \times 38 \\
 &= 359,69 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung tulangan yang diperlukan [arah x dan y].

Penulangan arah X.

Diameter tulangan utama direncanakan $\phi = 10 \text{ mm}$.

Tebal selimut beton yang direncanakan = 40 mm.

$$\begin{aligned}
 d_x &= 100 - 40 - 0,5 \times 10 \\
 &= 55 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

$$M_{lx} = -M_{tx} = 454,35 \text{ kg.m} = 454,35 \times 10^4 \text{ N.mm.}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d} = \frac{454,35 \cdot 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 1,88 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c} = \frac{320}{0,85 \times 24,6} = 15,30$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,30} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,30 \times 1,88}{320}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0062 > \rho_{\text{min}} = 0,0044$$

Dipakai $\rho = 0,0062$

As perlu = $\rho b d$

$$= 0,0062 \times 100 \times 5,5$$

$$= 3,41 \text{ cm}^2$$

Jarak tulangan yang disyaratkan berdasarkan SK SNI T-15-1991 pasal 3.6.4.2 adalah :

$$S_{\text{maksimum}} = 2 \times t = 2 \times 10 = 20 \text{ cm}$$

Jadi tulangan utama arah X yang dipakai : D10 - 20 ($A_s = 3,93 \text{ cm}^2$).

Penulangan arah Y.

Diameter tulangan utama direncanakan $\phi = 10 \text{ mm}$.

Tebal selimut beton yang direncanakan = 40 mm.

$$d_y = 100 - 40 - 10 - 0,5 \times 10$$

$$= 45 \text{ mm.}$$

$$M_{ly} = -M_{ty} = 359,69 \text{ kg.m} = 359,69 \times 10^4 \text{ N.mm.}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{359,69 \cdot 10^4}{0,8 \times 1000 \times 45^2} = 2,22 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = \frac{320}{0,85 \times 24,6} = 15,30$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,30} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,30 \times 2,22}{320}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0074 > \rho_{\text{min}} = 0,0044$$

Dipakai $\rho = 0,0074$

As perlu = $\rho b d$

$$= 0,0074 \times 100 \times 4,5$$

$$= 3,33 \text{ cm}^2$$

Jarak tulangan yang disyaratkan berdasarkan SK SNI T-15-1991 pasal 3.6.4.2 adalah :

$$S_{\text{maksimum}} = 2 \times t = 2 \times 10 = 20 \text{ cm}$$

Jadi tulangan utama arah Y yang dipakai : D10 - 20 (As = 3,93 cm²)

Untuk penulangan tipe pelat lainnya dapat dilihat pada lampiran, Tabel 3.1 dan Tabel 3.2

5. Menghitung tulangan akibat susut dan suhu.

Berdasarkan pada SK SNI T-15-1991 pasal 3.16.12, tulangan susut dan suhu hanya disediakan untuk pelat-pelat yang tulangan lenturnya memanjang dalam satu arah (pelat satu arah) dan pelat yang berhubungan langsung dengan sinar matahari seperti pada pelat atap. Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus dengan arah tulangan memanjang dengan spasi tidak boleh lebih dari lima kali tebal pelat atau 500 mm. Sedangkan rasio

tulangan susut dan suhu harus diambil sebesar 0,2% untuk pelat yang menggunakan tulangan deform mutu 300.

3.6. KONTROL PELAT TERHADAP LENDUTAN

Agar pelat mempunyai kekakuan cukup untuk membatasi lendutan yang dapat memperlemah kekuatannya, maka untuk setiap kategori konstruksi pelat, pada SK SNI T-15-1991 membatasi tebal minimum pelat yang harus dipenuhi bila lendutan tidak diperhitungkan. Ketentuan mengenai tebal minimum pelat sesuai dengan yang diatur di dalam SK SNI T-15-1991 pasal 3.2.5 dibedakan atas pelat satu arah dan pelat dua arah. Ketentuan ini dijelaskan sebagai berikut :

Konstruksi pelat satu arah.

Ketentuan yang tercantum di dalam Tabel 3.2.5.(a) adalah berlaku untuk tulangan dengan mutu $f_y = 400$ MPa. Untuk tulangan mutu yang lain ditentukan sebagai berikut :

$$t_{\min} = \frac{L}{21} \left[0,4 + \frac{f_y}{700} \right]$$

Konstruksi pelat dua arah.

Suatu parameter penting dalam sistem pelat dua arah adalah ukuran relatif dari balok terhadap tebal pelat yang dinyatakan dengan α , yaitu perbandingan dari kekakuan lentur balok terhadap kekakuan lentur pelat. Parameter α , ini terdapat pada dalam persamaan SK SNI T-15-11991 pasal 3.2-12 seperti yang telah tertulis pada bagian bab ini. Perhitungan tebal minimum pelat dengan persamaan tersebut akan selalu menghasilkan harga yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan persamaan SK SNI T-15-1991 pasal 3.2-13 dan 3.2-14. Untuk itu pengontrolan tebal minimum pelat hanya diperhitungkan berdasarkan persamaan SK SNI

T-15-1991 pasal 3.2-13 dan 3.2-14. Tebal pelat atap yang direncanakan adalah 10 cm di mana tebal pelat ini akan lebih besar bila dikontrol dengan persamaan SK SNI T-15-1991 pasal 3.2-13 di atas. Dengan demikian pengontrolan lendutan untuk pelat dua arah ini tidak perlu dilakukan.

3.7. KONTROL PELAT TERHADAP RETAK

Retak pada komponen struktur diakibatkan oleh korosi terhadap baja tulangan. Volume akibat karat akan lebih besar dari volume baja semula, maka pembentukan karat memungkinkan beton di sekitar tulangan akan pecah dan lepas. Proses peristiwa korosi ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan pada tulangan saja tetapi juga pada penampang betonpun ikut rusak.

Batasan untuk kontrol terhadap retak ini di dalam SK SNI T-15-1991 pasal 3.3.6.4 dinyatakan sebagai harga Z , di mana harga Z ini tidak boleh lebih dari 30 MN/m untuk penampang beton di dalam ruangan dan tidak boleh lebih dari 25 MN/m untuk penampang beton yang dipengaruhi oleh cuaca. Perumusan dibawah ini adalah berlaku untuk konstruksi pelat satu arah.

$$Z = f_s [d_c A]^{\frac{1}{3}}$$

Di mana :

d_c = jarak pusat tulangan tarik ke tepi luar dari suatu komponen struktur beton.

A = luas efektif beton disekitar tulangan tarik dibagi dengan jumlah tulangan.

$$= \frac{2 d_c b_w}{n_{\text{tulangan}}}$$

n = jumlah tulangan dalam bentang b_w

f_s = 60 % f_y

(dalam desain ini tidak terdapat sistim pelat satu arah)

Sedangkan pada pelat sistim dua arah, menurut Chu-Kia Wang dan Salmon lebar retak tidak merupakan masalah terutama bila digunakan tulangan dengan mutu f_y tidak melebihi 60000 psi atau 413,7 Mpa. Oleh karena itu tidak dilakukan peninjauan retak pada pelat dua arah dalam desain ini sebab mutu tulangan yang dipakai adalah 320 Mpa.

TABEL 3.1. PERHITUNGAN MOMEN PELAT ATAP

Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Type	qu (kg/m ²)	daerah	koefisien C	Mu (Kgm)	Mu (Nmm)
A	3,25	4	1,23	2 arah	591,6	lap x	47,2	294,94	2949400
	3,25	4	1,23		591,6	tum x	-47,2	-294,4	-2949400
	3,25	4	1,23		591,6	lap y	38	237,45	2374500
	3,25	4	1,23		591,6	tum y	-38	-237,45	-2374500
B	4	5	1,25	2 arah	591,6	lap x	48	454,35	4543500
	4	5	1,25		591,6	tum x	-48	-454,35	-4543500
	4	5	1,25		591,6	lap y	38	359,69	3596900
	4	5	1,25		591,6	tum y	-38	-359,69	-3596900
C	4	4	1	2 arah	591,6	lap x	36	340,76	3407600
	4	4	1		591,6	tum x	-36	-340,76	-3407600
	4	4	1		591,6	lap y	36	340,76	3407600
	4	4	1		591,6	tum y	-36	-340,76	-3407600

TABEL 3.2. PERHITUNGAN PENULANGAN PELAT ATAP

$f_c' = 24,6 \text{ Mpa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$

penutup beton = 40 mm
 tebal pelat atap = 100 mm

rho maximum = 0,027
 rho minimum = 0,0044

Type Pelat	Panjang (cm)	Daerah	d (mm)	Mu (N.mm)	m	Rn (MPa)	rho perlu	rho pakai	Tulangan Pokok		
									As perlu (mm ²)	Tulangan terpasang	As ada (mm ²)
A 2 arah	Lx = 325 Ly = 400	lap x	55	2949400	15,3	1,22	0,0039	0,0044	242	D10 - 20	393
		tum x	55	-2949400	15,3	1,22	0,0039	0,0044	242	D10 - 20	393
		lap y	45	2374500	15,3	1,47	0,0048	0,0048	216	D10 - 20	393
		tum y	45	-2374500	15,3	1,47	0,0048	0,0048	216	D10 - 20	393
B 2 arah	Lx = 400 Ly = 500	lap x	55	4543500	15,3	1,88	0,0062	0,0062	341	D10 - 20	393
		tum x	55	-4543500	15,3	1,88	0,0062	0,0062	341	D10 - 20	393
		lap y	45	3596900	15,3	2,22	0,0074	0,0074	333	D10 - 20	393
		tum y	45	-3596900	15,3	2,22	0,0074	0,0074	333	D10 - 20	393
C 2 arah	Lx = 400 Ly = 400	lap x	55	3407600	15,3	1,41	0,0046	0,0046	253	D10 - 20	393
		tum x	55	-3407600	15,3	1,41	0,0046	0,0046	253	D10 - 20	393
		lap y	45	3407600	15,3	2,10	0,0069	0,0069	311	D10 - 20	393
		tum y	45	-3407600	15,3	2,10	0,0069	0,0069	311	D10 - 20	393

TABEL 3.3. PERHITUNGAN MOMEN PELAT LANTAI

Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Type	qu (kg/m ²)	daerah	koefisien C	Mu (kg,m)	Mu (N,mm)
A1	3,25	4	1,23	2 arah	977,2	lap x	47,2	487,18	4871800
	3,25	4	1,23		977,2	tum x	-47,2	-487,18	-4871800
	3,25	4	1,23		977,2	lap y	38	392,22	3922200
	3,25	4	1,23		977,2	tum y	-38	-392,22	-3922200
B2	4	5	1,25	2 arah	977,2	lap x	48	750,49	7504900
	4	5	1,25		977,2	tum x	-48	-750,49	-7504900
	4	5	1,25		977,2	lap y	38	594,14	5941400
	4	5	1,25		977,2	tum y	-38	-594,14	-5941400
C1	4	4	1	2 arah	977,2	lap x	36	562,87	5628700
	4	4	1		977,2	tum x	-36	-562,87	-5628700
	4	4	1		977,2	lap y	36	562,87	5628700
	4	4	1		977,2	tum y	-36	-562,87	-5628700
D	4	4	1	2 arah	1217,2	lap x	36	701,11	7011100
	4	4	1		1217,2	tum x	-36	-701,11	-7011100
	4	4	1		1217,2	lap y	36	701,11	7011100
	4	4	1		1217,2	tum y	-36	-701,11	-7011100
E	4	5	1,25	2 arah	1217,2	lap x	48	934,81	9348100
	4	5	1,25		1217,2	tum x	-48	-934,81	-9348100
	4	5	1,25		1217,2	lap y	38	740,06	7400600
	4	5	1,25		1217,2	tum y	-38	-740,06	-7400600

note : Untuk pelat type B1 karena ada beban garis maka dihitung dengan bantuan paket program SAP 90, dimana didapat momen maximum adalah 741,00 Kgm dengan jalur penulangan 2 arah.

TABEL 3.4. PERHITUNGAN PENULANGAN PELAT LANTAI
 $f_c' = 24,6 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$

penutup beton = 20 mm

tebal pelat lantai = 120 mm

 $\rho_{\text{maximum}} = 0,027$
 $\rho_{\text{minimum}} = 0,0044$

Type Pelat	Panjang (cm)	Daerah	d (mm)	Mu (N.mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	Tulangan Pokok		
									As perlu (mm ²)	Tulangan terpasang	As ada (mm ²)
A1 2 arah	Lx = 325 Ly = 400	lap x	95	4871800	15,3	0,67	0,0021	0,0044	418	D10 - 15	524
		tum x	95	-4871800	15,3	0,67	0,0021	0,0044	418	D10 - 15	524
		lap y	85	3922200	15,3	0,68	0,0022	0,0044	374	D10 - 15	524
		tum y	85	-3922200	15,3	0,68	0,0022	0,0044	374	D10 - 15	524
B1 2 arah	Lx = 400 Ly = 500	lap x	95	7410000	15,3	1,03	0,0033	0,0044	418	D10 - 15	524
		tum x	95	-7410000	15,3	1,03	0,0033	0,0044	418	D10 - 15	524
		lap y	85	7410000	15,3	1,28	0,0041	0,0044	374	D10 - 15	524
		tum y	85	-7410000	15,3	1,28	0,0041	0,0044	374	D10 - 15	524
B2 2 arah	Lx = 400 Ly = 500	lap x	95	7504900	15,3	1,04	0,0033	0,0044	418	D10 - 15	524
		tum x	95	-7504900	15,3	1,04	0,0033	0,0044	418	D10 - 15	524
		lap y	85	5941400	15,3	1,02	0,0033	0,0044	374	D10 - 15	524
		tum y	85	-5941400	15,3	1,02	0,0033	0,0044	374	D10 - 15	524
C1 2 arah	Lx = 400 Ly = 400	lap x	95	5628700	15,3	0,78	0,0025	0,0044	418	D10 - 15	524
		tum x	95	-5628700	15,3	0,78	0,0025	0,0044	418	D10 - 15	524
		lap y	85	5628700	15,3	0,97	0,0031	0,0044	374	D10 - 15	524
		tum y	85	-5628700	15,3	0,97	0,0031	0,0044	374	D10 - 15	524
D 2 arah	Lx = 400 Ly = 400	lap x	95	7011100	15,3	0,97	0,0031	0,0044	418	D10 - 15	524
		tum x	95	-7011100	15,3	0,97	0,0031	0,0044	418	D10 - 15	524
		lap y	85	7011100	15,3	1,21	0,0039	0,0044	374	D10 - 15	524
		tum y	85	-7011100	15,3	1,21	0,0039	0,0044	374	D10 - 15	524
E 2 arah	Lx = 400 Ly = 400	lap x	95	9348100	15,3	1,29	0,0042	0,0044	418	D10 - 15	524
		tum x	95	-9348100	15,3	1,29	0,0042	0,0044	418	D10 - 15	524
		lap y	85	7400600	15,3	1,28	0,0041	0,0044	374	D10 - 15	524
		tum y	85	-7400600	15,3	1,28	0,0041	0,0044	374	D10 - 15	524

BAB IV

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER DAN BASEMENT

4.1. PERENCANAAN BASEMENT

Pelat basement terletak pada kedalaman -3,00 meter dari lantai satu dengan ketinggian muka air tanah dianggap sampai pada permukaan tanah.

4.1.1. Perencanaan Pelat Basement

Pelat basement direncanakan setebal 16 cm dengan pertimbangan bahwa pelat basement, menurut PPI 83, menerima beban hidup dari dua arah yang cukup besar yaitu kombinasi beban mati + beban hidup lantai parkir (arah kebawah), dan kombinasi beban mati + beban akibat uplift air dari bawah.

♦ Data Perencanaan Basement

mutu beton \longrightarrow $f_c' = 24,6 \text{ Mpa}$

mutu baja \longrightarrow $f_y = 320 \text{ Mpa}$

4.1.1.1. Pembebanan Pelat Basement

Beban - beban yang bekerja pada pelat basement meliputi beban mati dan beban hidup untuk ruang parkir dan akibat uplift air dari bawah.

a. Beban mati :

- berat sendiri pelat $= 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$

- spesi + tegel (5cm) $= 0,05 \times 2200 = \underline{110 \text{ kg/m}^2}$

DL $= 398 \text{ kg/m}^2$

b. Beban hidup :

$$\text{- Basement} \qquad \qquad \qquad LL = 800 \text{ kg/m}^2$$

Karena beban mati + beban hidup lantai sudah didukung oleh tanah, maka beban yang bekerja pada pelat basement adalah akibat uplift air dari bawah (arah keatas).

$$\begin{aligned} \text{Gaya Uplift} &= (\gamma_w \times h) - 1,2 D &= (1000 \times 3) - 1,2 \times 398 \\ & &= 2522,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.1.1.2. Penulangan Pelat Basement

Untuk penulangan pelat basement didasarkan pada kondisi pembebanan dimana tulangan pada daerah lapangan direncanakan menerima beban dari bawah, sedangkan cara penulangannya sama dengan penulangan pelat lantai dan atap.

Tulangan susut dan suhu dipasang pada kedua arah bentang pelat (arah x dan arah y) dengan cara mendistribusikan tulangan susut dan suhu kesemua arah secara merata.

Diameter tulangan yang digunakan adalah D.10 dengan tebal decking = 40 mm seperti yang disyaratkan pada SK SNI T-15-1991 untuk beton yang langsung berhubungan dengan tanah atau cuaca.

$$\begin{aligned} \text{- d untuk penulangan arah x} &= 120 - 40 - 10/2 \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- d untuk penulangan arah y} &= 120 - 40 - 10 - 10/2 \\ &= 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil penulangan pelat basement ini dapat dilihat pada Tabel berikut :

TABEL 4.1. PERHITUNGAN MOMEN PELAT BASEMENT

Pelat	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Type	qu (kg/m ²)	daerah	koefisien C	Mu (Kgm)	Mu (Nmm)
A2	3,25	4	1,23	2 arah	2522,4	lap x	47,2	1257,54	12575400
	3,25	4	1,23		2522,4	tum x	-47,2	-1257,54	-12575400
	3,25	4	1,23		2522,4	lap y	38	1012,43	10124300
	3,25	4	1,23		2522,4	tum y	-38	-1012,43	-10124300
B3	4	5	1.25	2 arah	2522,4	lap x	48	1937,20	19372000
	4	5	1.25		2522,4	tum x	-48	-1937,20	-19372000
	4	5	1.25		2522,4	lap y	38	1533,62	15336200
	4	5	1.25		2522,4	tum y	-38	-1533,62	-15336200
C2	4	4	1	2 arah	2522,4	lap x	36	1452,90	14529000
	4	4	1		2522,4	tum x	-36	-1452,90	-14529000
	4	4	1		2522,4	lap y	36	1452,90	14529000
	4	4	1		2522,4	tum y	-36	-1452,90	-14529000

TABEL 4.2. PERHITUNGAN PENULANGAN PELAT BASEMENT
 $f_c' = 24,6 \text{ Mpa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$

penutup beton = 40 mm

tebal pelat basement = 120 mm

 $\rho_{\text{maximum}} = 0,027$
 $\rho_{\text{minimum}} = 0,0044$

Type Pelat	Panjang (cm)	Daerah	d (mm)	Mu (N.mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	Tulangan Pokok		
									As perlu (mm ²)	Tulangan terpasang	As ada (mm ²)
A2 2 arah	Lx = 325 Ly = 400	lap x	73	12575400	15,3	5,90	0,022	0,022	803	D14 - 19	810
		tum x	73	-12575400	15,3	5,90	0,022	0,022	803	D14 - 19	810
		lap y	73	10124300	15,3	4,75	0,017	0,017	621	D14 - 20	769
		tum y	73	-10124300	15,3	4,75	0,017	0,017	621	D14 - 20	769
B3 2 arah	Lx = 400 Ly = 500	lap x	73	19372000	15,3	9,09	0,042	0,027	986	D14 - 15	1026
		tum x	73	-19372000	15,3	9,09	0,042	0,027	986	D14 - 15	1026
		lap y	73	15336200	15,3	7,19	0,029	0,027	986	D14 - 15	1026
		tum y	73	-15336200	15,3	7,19	0,029	0,027	986	D14 - 15	1026
C2 2 arah	Lx = 400 Ly = 400	lap x	73	14529000	15,3	6,82	0,027	0,027	986	D14 - 15	1026
		tum x	73	-14529000	15,3	6,82	0,027	0,027	986	D14 - 15	1026
		lap y	73	14529000	15,3	6,82	0,027	0,027	986	D14 - 15	1026
		tum y	73	-14529000	15,3	6,82	0,027	0,027	986	D14 - 15	1026

4.1.2. Perencanaan dinding Basement

Dinding basement dimodelkan sebagai pelat yang terjepit pada keempat sisinya dan menerima beban lateral akibat tekanan tanah kesamping dan tekanan hidrostatik air, sedangkan penulangannya berdasarkan SK SNI T-15-1991.

SK SNI T-15-1991 psl 3.7.5.3 menyebutkan bahwa tebal dinding basement dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 190 mm sehingga pada perencanaan dinding basement ini diambil tebal = 250 mm.

♦ Data Perencanaan

- mutu beton = 24,6 Mpa
- mutu baja = 320 Mpa
- γ tanah (γ_t) = 1810 kg/m³
- γ air (γ_w) = 1000 kg/m³
- q pada permukaan tanah (q_0) = 400 kg/m²
- muka air tanah tertinggi (MAT) = 0 m
- tebal dinding basement = 250 mm
- tebal decking = 40 mm
- diameter tulangan rencana = 14 mm
- tinggi efektif (d) dinding basement

$$d \text{ penulangan arah x} = 203 \text{ mm}$$

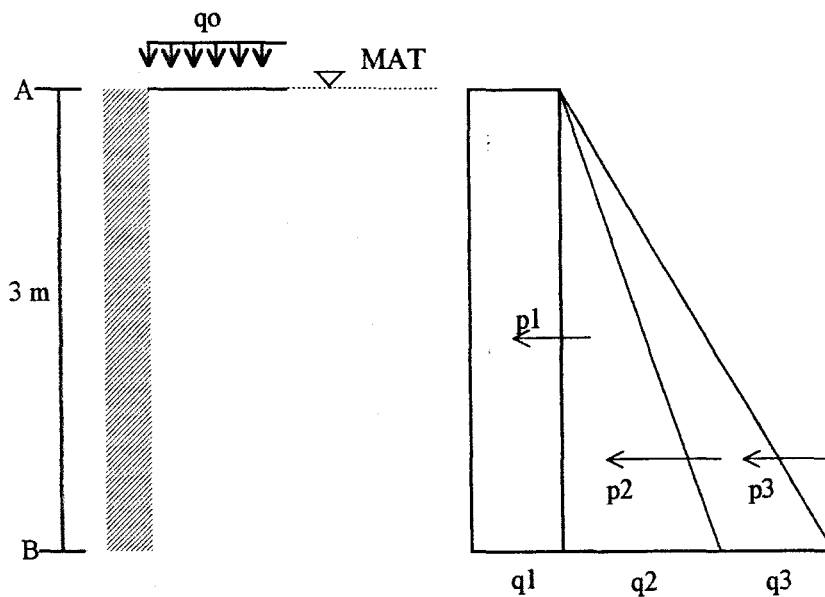
$$d \text{ penulangan arah y} = 189 \text{ mm}$$

♦ Parameter-parameter tanah

- sudut geser dalam (ϕ) = 8,5°
- koef. tekanan tanah aktif (k_a) = $\text{tg}^2 (45 - \frac{\phi}{2})$

$$\begin{aligned}
 &= \operatorname{tg}^2 (45 - 8,5/2) \\
 &= 0,74 \\
 \text{- specific gravity (Gs)} &= 2,63 \\
 \text{- angka pori (e)} &= 1,02 \\
 \text{- } \gamma_{\text{sat}} &= \frac{(G_s + e) \gamma_w}{(1 + e)} = 1806,93 \\
 \text{- } \gamma_{\text{sub}} &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 806,93
 \end{aligned}$$

4.1.2.1. Perhitungan Pembebanan



Gambar 4.1. Pembebanan Dinding Basement

$$\begin{aligned}
 q_1 &= q_0 \cdot K_a &= 400 \times 0,74 &= 296 \text{ kg/m}^2 \\
 q_2 &= \gamma_{\text{sub}} \cdot K_a \cdot 3 &= 806,93 \times 0,74 \times 3 &= 1791,38 \text{ kg/m}^2 \\
 q_3 &= \gamma_w \cdot 3 &= 1000 \times 3 &= 3000 \text{ kg/m}^2 \\
 p_1 &= q_1 \cdot 3 &= 296 \times 3 &= 888 \text{ kg} \\
 p_2 &= 1/2 \cdot q_2 \cdot 3 &= 1/2 \times 1791,38 \times 3 &= 2687,07 \text{ kg} \\
 p_3 &= 1/2 \cdot q_3 \cdot 3 &= 1/2 \times 3000 \times 3 &= 4500 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan reaksi tumpuan dan kontrol geser

Dengan menganggap dinding basement sebagai bentang A - B statis tak tentu yang dibebani gaya-gaya P1, P2, dan P3, maka dengan bantuan paket program *SAP 90* didapat reaksi-reaksi tumpuan sebagai berikut :

$$V_a = 2840 \text{ kg}$$

$$V_b = 5235 \text{ kg}$$

Kekuatan geser beton

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,6 \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,6 \cdot 1/6 \cdot \sqrt{24,6} \cdot 1000 \cdot 202 \\
 &= 10018 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 10018 \text{ kg} > V_b = 5235 \text{ kg}$$

Jadi tidak diperlukan tulangan geser untuk dinding !

4.1.2.2. Penulangan lentur dinding basement

Momen-momen tumpuan dan lapangan pada dinding basement dihitung dengan menggunakan koefisien momen PBI'71, dimana dinding dianggap sebagai pelat yang terjepit elastis pada keempat sisinya.

Cara penulangan dinding basement sama dengan cara penulangan untuk pelat atap, dengan pemasangan tulangan susut dan suhu sebesar 0,2 % dari luas tulangan perlu yang disebarkan merata pada kedua arah.

Hasil penulangan dinding basement ini ditabelkan sebagai berikut :

TABEL 4.3. PERHITUNGAN MOMEN DINDING BASEMENT

Dinding	Lx (m)	Ly (m)	Ly/Lx	Type	qu (kg/m ²)	daerah	koefisien C	Mu (Kgm)	Mu (Nmm)
A	3	8	2,67	1 arah	5087,38	lap x	63	2884,54	28845400
	3	8	2,67		5087,38	tum x	-63	-2884,54	-28845400
B	3	6,5	2,17	2 arah	5087,38	lap x	62	2838,76	28387600
	3	6,5	2,17		5087,38	tum x	-62	-2838,76	-28387600
	3	6,5	2,17		5087,38	lap y	34	1556,74	15567400
	3	6,5	2,17		5087,38	tum y	-34	-1556,74	-15567400
C	3	5	1,67	2 arah	5087,38	lap x	58,7	2687,66	26876600
	3	5	1,67		5087,38	tum x	-58,7	-2687,66	-26876600
	3	5	1,67		5087,38	lap y	36	1648,31	16483100
	3	5	1,67		5087,38	tum y	-36	-1648,31	-16483100

TABEL 4.4. PERHITUNGAN PENULANGAN DINDING BASEMENT

$f_c' = 24,6 \text{ Mpa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$

penutup beton = 40 mm
 tebal dinding basement = 250 mm

$\rho_{\text{maximum}} = 0,027$
 $\rho_{\text{minimum}} = 0,0044$

Dinding	Panjang (cm)	Daerah	d (mm)	Mu (N.mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	Tulangan Pokok		
									As perlu (mm ²)	Tulangan terpasang	As ada (mm ²)
A 1 arah	Lx = 300	lap x	203	28845400	15,3	0,87	0,0028	0,0044	893	D14 - 15	1026
	Ly = 800	tum x	203	-28845400	15,3	0,87	0,0028	0,0044	893	D14 - 15	1026
B 2 arah	Lx = 300 Ly = 650	lap x	203	28387600	15,3	0,86	0,0027	0,0044	893	D14 - 15	1026
		tum x	203	-28387600	15,3	0,86	0,0027	0,0044	893	D14 - 15	1026
		lap y	189	15567400	15,3	0,54	0,0017	0,0044	832	D14 - 15	1026
		tum y	189	-15567400	15,3	0,54	0,0017	0,0044	832	D14 - 15	1026
C 2 arah	Lx = 300 Ly = 500	lap x	203	26877600	15,3	0,82	0,0026	0,0044	893	D14 - 15	1026
		tum x	203	-26877600	15,3	0,82	0,0026	0,0044	893	D14 - 15	1026
		lap y	189	16483100	15,3	0,58	0,0018	0,0044	832	D14 - 15	1026
		tum y	189	-16483100	15,3	0,58	0,0018	0,0044	832	D14 - 15	1026

note : Pada type A (1 arah), untuk penulangan arah y dipakai tulangan susut

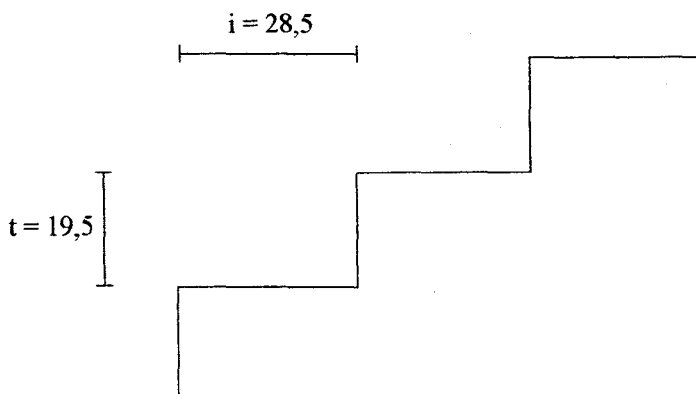
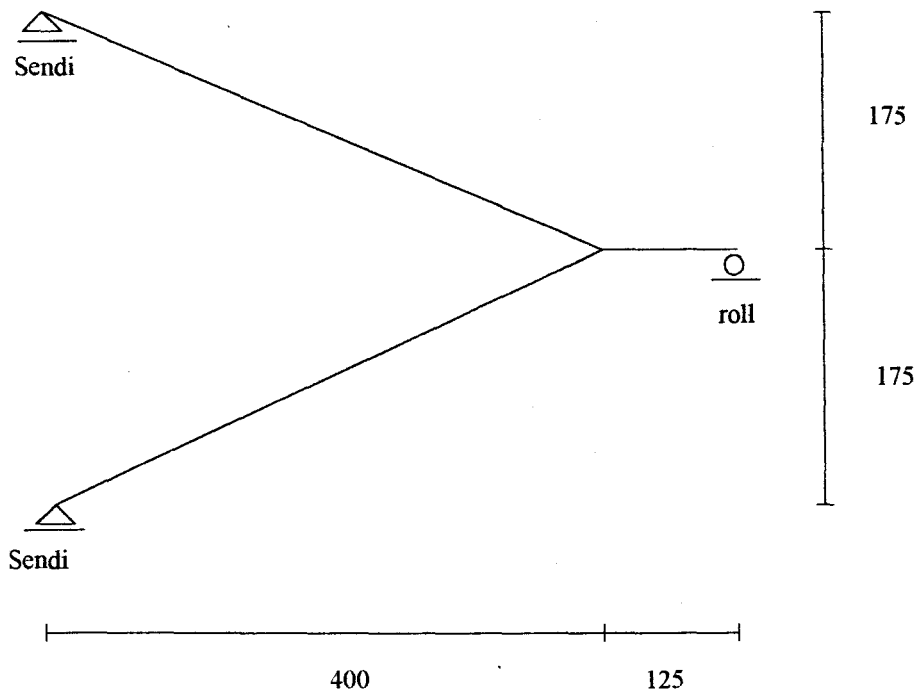
$A_s = 0,002 \times 100 \times 25 = 500 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan D10 - 15 ($A_s = 524 \text{ mm}^2$)

4.2. PERENCANAAN TANGGA

Tangga dimodelkan sebagai sistem tangga yang tertumpu pada dua sisinya, yaitu tertumpu sebagai rol pada bagian bordes dan tertumpu sebagai sendi pada perletakan atas dan bawah pada balok anak lantai atas dan bawah. Diantara tangga kiri dan kanan terdapat siar dilatasi pada tengah-tengah bordes diisi dengan aspal. Hal ini sesuai dengan peraturan gempa, yaitu berdasarkan persyaratan " Peraturan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 1983 ", dimana unsur-unsur yang termasuk dalam struktur sekunder dipisahkan dari struktur utamanya, karena unsur-unsur tersebut mempunyai kekakuan yang dapat mempengaruhi respons struktur utama gedung akibat gempa yang akan dihitung tanpa memperhatikan unsur-unsur tersebut. Maka struktur sekunder ini hanya bersifat membebani struktur utama tanpa mempengaruhi kekakuan struktur.

Pada perencanaan ini hanya terdapat satu tipe tangga yang menghubungkan setiap lantai dimana semua ukuran serta pembebanannya sama.



Gambar 4.2. Tangga

4.2.1. Data Perencanaan

Data umum perencanaan tangga adalah sebagai berikut :

Mutu beton: f_c' = 24,6 MPa.

Mutu baja: f_y = 320 MPa.

Tebal pelat tangga = 15 cm.

Tebal pelat bordes = 15 cm.

Direncanakan :

Lebar injakan = 28,5 cm

Tinggi injakan = 19,5 cm

Beda tinggi lantai ke bordes = 175 cm

Beda tinggi bordes ke lantai = 175 cm

Banyaknya injakan = $400/28,5$ = 14 buah

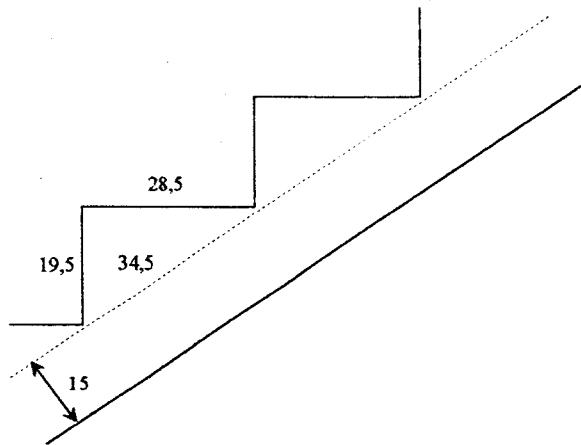
= $175/19,5$ = 9 buah +

= 23 buah

$$\text{Sudut kemiringan } \alpha = \arctan \left[\frac{175}{400} \right] = 23,6^\circ$$

4.2.2. Pembebanan Tangga

Beban-beban yang bekerja pada tangga meliputi berat sendiri tangga dan ditambah dengan beban hidup. Di dalam analisisnya beban-beban ini akan dijadikan beban merata pada pelat elemen tangga.



a. Perhitungan tebal pelat rata-rata.

Luas segitiga = Luas segiempat equivalen

$$0,5 \times t \times i = tr \times \sqrt{(t^2 + i^2)}$$

$$0,5 \times 19,5 \times 28,5 = tr \times \sqrt{(19,5^2 + 28,5^2)}$$

$$276,45 = 34,5 tr$$

$$tr = 8 \text{ cm.}$$

Jadi tebal pelat rata-rata = $15 + 8 = 23 \text{ cm.}$

b. Perhitungan beban pada tangga.

Pelat anak tangga.

Beban mati :

$$\text{- Pelat tangga : } \frac{0,23 \times 2400}{\cos 23,6^\circ} = 602,38 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Spesi dan tegel : } 2 (21 + 24) = 90,00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- Sandaran} = 50,00 \text{ kg/m}^2 +$$

$$DL = 742,38 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup :

$$LL = 300,00 \text{ kg/m}^2$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} qu &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 \times 742,38 + 1,6 \times 300 \\ &= 1370,86 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Pelat BordesBeban mati :

$$\begin{aligned} \text{- Pelat bordes} &: 0,15 \times 2400 &= 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{- Spesi dan tegel} &: 2 (21 + 24) &= 90 \text{ kg/m}^2 \\ \text{- Sandaran} &&= \underline{50 \text{ kg/m}^2} + \\ DL &= 500 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban hidup :

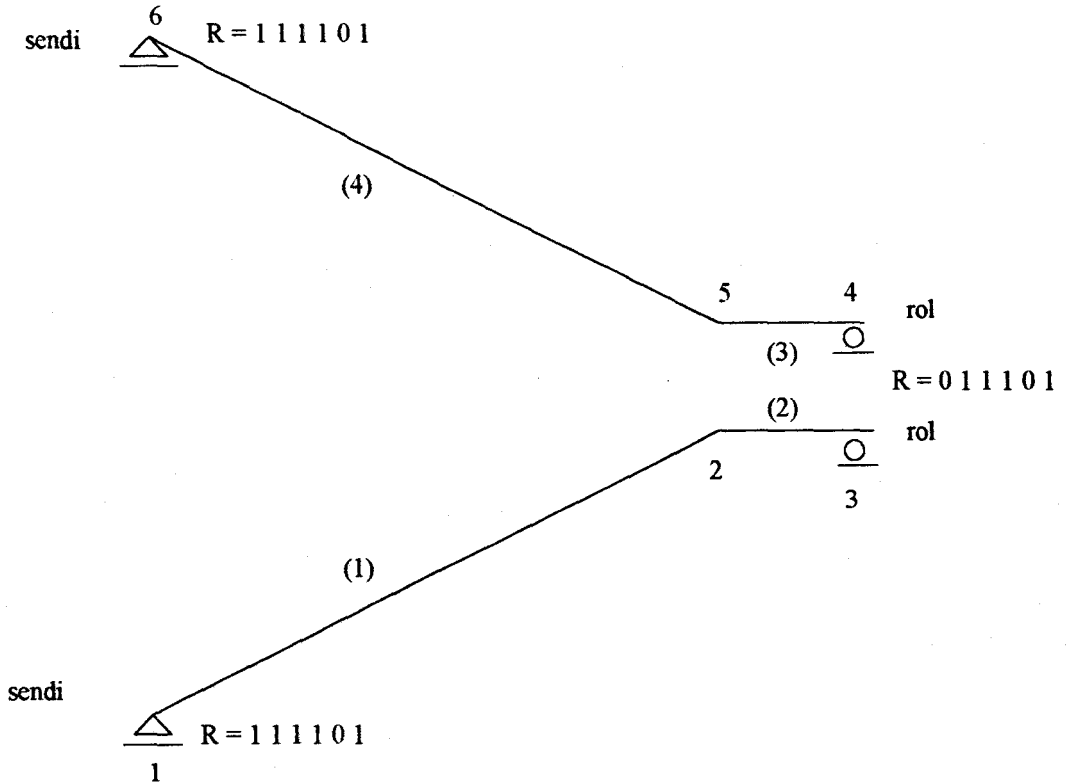
$$LL = 300 \text{ kg/m}^2$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} qu &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 \times 500 + 1,6 \times 300 \\ &= 1080 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.3. Analisa Gaya-Gaya Dalam Tangga

Gaya-gaya dalam dari tangga ini dianalisa dengan bantuan program SAP'90 dengan mengasumsikan struktur tangga sebagai elemen frame yang tertumpu pada kedua ujungnya.



Gambar 4.3. Pemodelan Struktur Tangga.

4.2.4. Perhitungan Penulangan Tangga

Secara umum pelat tangga direncanakan bertulang rangkap, sebab meskipun tulangan tekan tidak memberikan sumbangan kekuatan yang terlalu besar di dalam lentur, namun cukup penting dalam mengatasi masalah lendutan jangka panjang.

Cara perhitungan penulangan pada tangga sama seperti perhitungan penulangan pada pelat satu arah dengan menganggap lebar adalah 1 meter.

Penulangan Tangga

Direncanakan :

- | | | | |
|---------------|----------|-------------------------|------------|
| - Tebal pelat | = 15cm | - Mutu beton (f_c') | = 24,6 MPa |
| - Decking | = 2 cm | - Mutu baja (f_y) | = 320 MPa |
| - ρ max | = 0,027 | - Diameter tulangan | = D 14 |
| - ρ min | = 0,0044 | | |

Penulangan anak tangga

Dari hasil analisa gaya-gaya dalam dengan menggunakan program SAP'90 pada anak tangga:

$$Mu = 3805,59 \text{ Kg.m} = 38055900 \text{ N.mm}$$

$$d = 150 - 20 - 0,5(14) = 123 \text{ mm}$$

$$d' = 20 + 0,5 \times (14) = 27 \text{ mm}$$

Diambil $\delta = 0,6$

$$R_n = \frac{(1-\delta) Mu}{\phi b d^2} = \frac{(1-0,6) \times 3805590}{0,8 \times 1000 \times 123^2} = 1,26 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{320}{0,85 \times 24,6} = 15,30$$

$$\rho_1 = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n m}{f_y}} \right] = \frac{1}{15,30} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,26 \times 15,30}{320}} \right] = 0,0041$$

$$\rho_2 = \frac{\delta Mu}{\phi f_y (d-d') b d} = \frac{0,6 \times 38055900}{0,8 \times 320 (123-27) \times 1000 \times 123} = 0,0076$$

$$\rho = \rho_1 + \rho_2$$

$$= 0,0041 + 0,0076$$

$$= 0,012$$

$$A_s = 0,012 \times 1000 \times 123 = 1476 \text{ mm}^2 = 14,76 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan D 14 - 10} = 15,39 \text{ cm}^2$$

$$A_s' = 0,0076 \times 1000 \times 123 = 934,8 \text{ mm}^2 = 9,35 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan D 14 - 15} = 10,26 \text{ cm}^2$$

Pemulangan bordes

Dari hasil analisa gaya-gaya dalam dengan menggunakan program SAP'90 pada bordes (elemen 3) diperoleh :

$$M_u = 3907,44 \text{ Kg.m} = 39074400 \text{ N.mm}$$

$$d = 150 - 20 - 0,5(14) = 123 \text{ mm}$$

$$d' = 20 + 0,5 \times (14) = 27 \text{ mm}$$

$$m = 15,30$$

$$R_n = \frac{(1 - 0,6) 39074400}{0,8 \times 1000 \times 123^2} = 1,29 \text{ MPa}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{15,3} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,30 \times 1,29}{320}} \right] = 0,0042$$

$$\rho_2 = \frac{0,6 \times 39074400}{0,8 \times 320 (123 - 27) \times 1000 \times 123} = 0,0078$$

$$\rho = \rho_1 + \rho_2$$

$$= 0,0042 + 0,0078$$

$$= 0,012$$

$$A_s = 0,012 \times 1000 \times 123 = 1476 \text{ mm}^2 = 14,76 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan D 14 - 10} = 15,39 \text{ cm}^2$$

$$As' = 0,0078 \times 1000 \times 123 = 959,4 \text{ mm}^2 = 9,59 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan D 14 - 15} = 10,26 \text{ cm}^2$$

Penulangan geser

Berdasarkan pasal 3.4.3.2 SK SNI, sumbangan kekuatan geser beton (V_c) adalah :

$$V_c = \left[1 + \frac{N_u}{14A_g} \right] \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d$$

Di mana :

- Besaran N_u/A_g dalam MPa
- Nilai N_u adalah positif (+) untuk aksial tekan dan negatif (-) untuk aksial tarik.

Penampang beton yang dapat menerima tegangan geser harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$V_u \leq \phi V_c$$

di mana $\phi = 0,6$ (faktor reduksi kekuatan) SK SNI pasal 3.2.3.2.

Dari hasil analisa SAP'90 didapat :

$$V_u \text{ pada tumpuan anak tangga} = 2959,33 \text{ kg}$$

$$N_u \text{ pada anak tangga} = 2760,06 \text{ kg (tekan)}$$

$$V_u \text{ pada tumpuan bordes} = 3800,95 \text{ kg}$$

Dari perhitungan :

$$\phi V_c = \phi \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \left[1 \pm \frac{N_u}{14 A_g} \right] \rightarrow A_g = b_w \times d$$

Akibat gaya tarik :

$$\phi V_c = 0,6 \times \frac{\sqrt{24,6}}{6} \times 1000 \times 123 \left[1 - \frac{2760,06}{14 \times 123000} \right] = 61103,80 \text{ N}$$

Akibat gaya tekan :

$$\phi V_c = 0,6 \times \frac{\sqrt{24,6}}{6} \times 1000 \times 123 \left[1 - \frac{2760,06}{14 \times 123000} \right] = 60908,23 \text{ N}$$

Dari perhitungan diatas, $V_u < \phi V_c \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser.

Untuk seluruh elemen-elemen pada tangga didapatkan bahwa gaya geser yang terjadi adalah di bawah kekuatan geser beton maka tidak diperlukan tulangan geser.

Tulangan geser hanya dipasang praktis bersama-sama tulangan pembagi yang berupa tulangan arah melintang (tegak lurus tulangan memanjang), dengan ukuran D10 - 20.

4.3. PERENCANAAN BALOK ANAK

Balok anak selain balok anak tepi yaitu yang terletak pada tepi pelat yang tidak menerus, direncanakan tidak menerima torsi sehingga tulangan torsi pada balok anak hanya dipasang minimum.

Dalam perencanaan ini, balok anak dimodelkan sebagai balok yang terletak pada beberapa tumpuan dengan menganggap tumpuan tengah sebagai balok menerus dan tumpuan tepi sebagai jepit elastis sedangkan gaya-gaya dalamnya dihitung dengan bantuan paket program SAP 90.

☐ Data Perencanaan

- Mutu beton = K300 ($f_c' = 24,6 \text{ Mpa}$)
- Modulus Elastisitas Beton (E_c)

$$= 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \sqrt{24,6} = 23311 \text{ MPa}$$

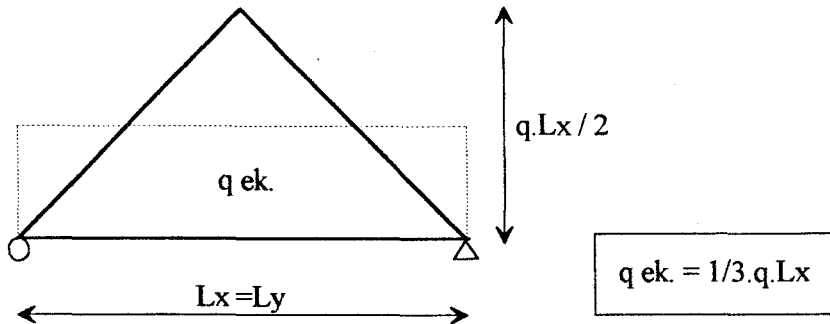
- Mutu baja = U.32 ($f_y = 320 \text{ MPa}$)

4.3.1. Tipe-tipe Pembebanan

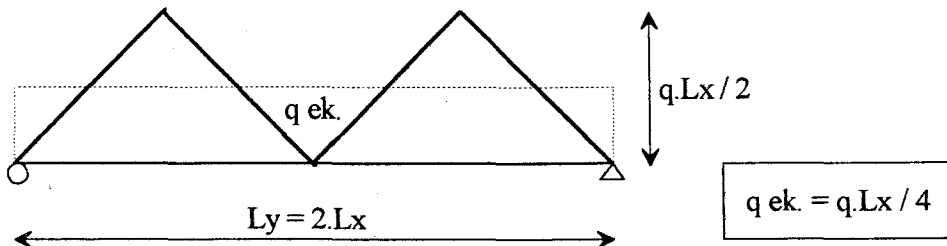
Beban-beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak tersebut dan semua beban merata pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata di atasnya). Distribusi bebannya didasarkan pada cara Tributary Area yaitu beban pelat dinyatakan dalam bentuk trapesium maupun segitiga. Beban-beban berbentuk trapesium maupun segitiga tersebut kemudian dirubah menjadi beban merata ekivalen dengan menyamakan momen maksimumnya.

Variasi pembebanan dan beban ekivalen yang terjadi pada perhitungan balok anak ini antara lain :

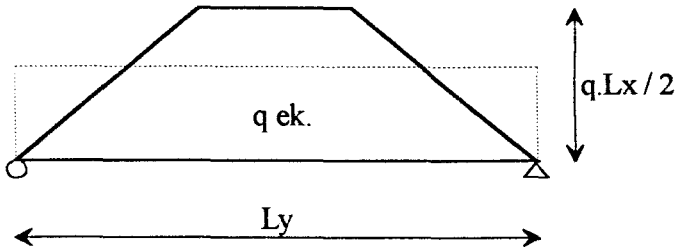
1. Beban ekivalen segi tiga

GAMBAR 4.4 $q_{ek.}$ SEGI TIGA

2. Beban ekivalen dua segi tiga

GAMBAR 4.5. $q_{ek.}$ DUA SEGI TIGA

3. Beban ekivalen trapesium

GAMBAR 4.6. q_{ek} . TRAPESIUM

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L_x \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right]$$

4.3.2. Preliminary Design Balok Anak

Dimensi balok anak diperkirakan untuk sementara berkisar :

- Tinggi balok (h) = $(1/10 - 1/14) L$
- Lebar balok (b) = $(0,5 - 0.67) h$

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, perencana mengambil angka-angka di atas hanya untuk menentukan dimensi awal saja. Sedangkan untuk perencanaan selanjutnya, perencana menentukan dimensi balok anak dengan mengambil batasan perbandingan antara luas tulangan dengan luas beton (ρ) berkisar 0,5 % - 2 %.

4.3.3. Perhitungan Penulangan Balok Anak

Penulangan balok anak meliputi penulangan lentur, penulangan geser, kontrol retak, dan kontrol lendutan, sedangkan tulangan torsi hanya dipasang minimum.

4.3.3.1. Penulangan Lentur Balok Anak

☐ Asumsi Perencanaan :

Penulangan lentur untuk momen negatif pada daerah tumpuan dihitung dengan menganggap penampang balok adalah penampang persegi, sedangkan perhitungan lentur pada daerah lapangan, apabila balok dicor monolit dengan pelat adalah memakai prosedur disain konstruksi balok T dengan penentuan lebar flens menurut SK SNI '91, Ayat 3.1.10.

Kekuatan nominal dari suatu komponen struktur untuk memikul beban lentur dan aksial didasarkan pada asumsi yang diberikan dalam SK SNI '91, Ayat 3.3.2 butir 2 hingga Ayat 3.3.2 butir 7.

☐ Kondisi Regangan Berimbang dan Batas Rasio Penulangan

Didefinisikan sebagai suatu kondisi dimana tulangan tarik mencapai tegangan leleh yang disyaratkan (f_y) pada saat yang bersamaan dengan bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas sebesar 0,003.

Untuk menjamin bahwa pola keruntuhan secara daktail dapat tercapai, maka diadakanlah batasan maksimum rasio tulangan sebesar 0,75 dari $\rho_{balance}$.

Berikut ini diberikan harga rasio penulangan pada keadaan berimbang (ρ_b), harga rasio penulangan maksimum (ρ_{max}), dan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) dari balok berpenampang persegi dengan tulangan tunggal.

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Batasan penulangan minimum di atas diberikan untuk pertimbangan ekonomis beton. Jika tulangan terpasang lebih kecil dari tulangan minimum yang disyaratkan, maka pada saat tercapainya kekuatan nominal dari suatu komponen struktur beton, otomatis tegangan tekan yang terjadi pada beton sangat kecil dibandingkan dengan kekuatan hancur beton sehingga kekuatan beton seolah-olah tidak dimanfaatkan untuk menunjang kekuatan komponen struktur tersebut.

☐ Balok Dengan Penampang Persegi Empat

Penampang persegi direncanakan hanya menggunakan tulangan tarik saja, penambahan tulangan tekan baru diperhitungkan bila rasio tulangan tarik yang diperlukan melebihi rasio tulangan max yang disyaratkan atau dengan kata lain tulangan tekan dibutuhkan bila momen yang terjadi melebihi kapasitas momen yang dapat ditahan oleh tulangan tarik saja.

☐ Konstruksi Balok T

Bentuk balok T diperoleh dari pengecoran monolit antara balok dan pelat pada sisi atasnya, sehingga pada daerah momen positif balok, luas penampang pelat akan menambah luas daerah tekan pada balok sedangkan pada daerah momen negatif, balok tetap dianggap sebagai penampang persegi.

Perencanaan untuk balok T adalah seperti perencanaan balok berpenampang persegi dengan tulangan tunggal, hal ini mengingat bahwa luas daerah tekan beton pada balok T mendapat tambahan dari pelat di atasnya sehingga pemakaian tulangan tekan dapat diabaikan.

Penentuan lebar efektif untuk 2 type balok yaitu balok T dan balok L (interior dan exterior) telah diatur dalam SK SNI '91, Ayat 3.1.10, yaitu :

1. Balok interior (pelat pada kedua belah sisi), dipilih nilai yang terkecil dari :

- a. $bE \leq 1/4.L$
- b. $bE \leq b_w + 16.t$
- c. $bE \leq b_w + L_n$

2. Balok exterior (pelat hanya pada satu sisi), dipilih nilai yang terkecil dari :

- $bE \leq b_w + 1/12.L$
- $bE \leq b_w + 6.t$
- $bE \leq b_w + 1/2.L_n$

Untuk perhitungan kekuatan nominal dari balok T, maka harus diperiksa dulu apakah balok T tersebut asli atau palsu, prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Bila tinggi a dari blok tegangan persegi adalah sama atau lebih kecil dari tebal pelat (t), maka balok T dihitung sama dengan balok empat persegi panjang (balok T palsu) dengan lebar bE .
2. Bila tinggi a lebih besar dari tebal pelat (t), maka dihitung secara balok T murni dengan :

$$M_n = C_1 (d - a/2) + C_2 (d - t/2)$$

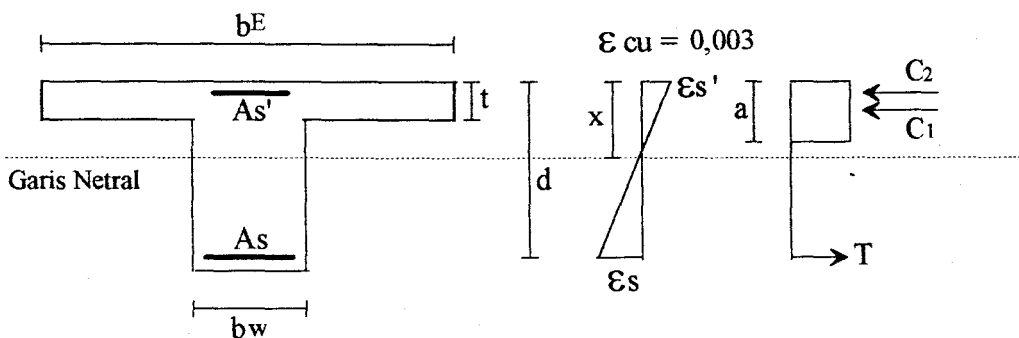
dimana :

$$C_1 = 0,85 f_c' b_w a$$

$$C_2 = 0,85 f_c' (bE - b_w) t$$

$$a = \frac{T - C_2}{0,85 f_c' b_w}$$

$$T = A_s f_y$$



GAMBAR 4.7. BALOK T MURNI

□ Langkah-langkah perencanaan lentur balok anak :

1. Tentukan dimensi balok meliputi :

- Lebar balok (b)
- Tinggi balok (h)
- Penutup beton (dc)

2. Hitung momen yang terjadi pada balok (dari hasil analisa SAP 90).

3. Hitung R_n dengan rumus :

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d c^2}$$

4. Hitung ρ yang diperlukan dengan rumus :

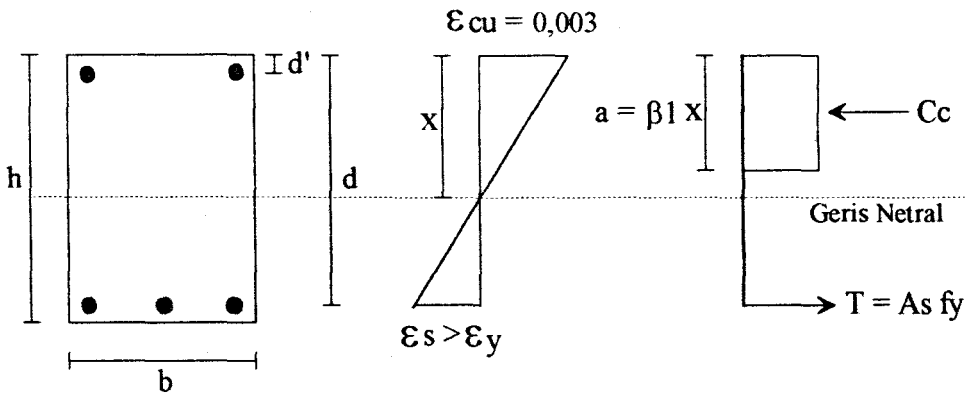
$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f_c'}} \right]$$

5. Cek ρ perlu yang diperoleh terhadap ρ_{max} dan ρ_{min} .

- Apabila ρ perlu yang didapat $> \rho_{\text{max}}$, maka diperlukan tulangan tekan.
- Apabila ρ perlu yang didapat $< \rho_{\text{min}}$, maka praktis tulangan tekan tidak dibutuhkan, sehingga dihitung berdasarkan tulangan tunggal saja.

6. Cek nilai a terhadap tebal pelat (t) pada daerah lapangan.

- Apabila nilai $a < t$, maka prosedur perhitungan di atas sudah benar yaitu sebagai balok T palsu (balok berpenampang persegi).
- Apabila nilai $a > t$, maka harus dilakukan prosedur perhitungan balok T murni seperti yang telah diuraikan sebelumnya.



GAMBAR 4.8. PENAMPANG BALOK PERSEGI

□ Contoh Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan tulangan lentur balok anak, diambil balok anak BA.16 :

➤ Perencanaan Umum Balok

Tinggi balok (h)	=	60 cm
Lebar balok (b)	=	30 cm
Bentang (Lu)	=	800 cm
Penutup beton (dc)	=	4 cm
Sengkang	=	ϕ 10
Tulangan utama	=	D.22
Mutu beton (f _{c'})	=	24,6 MPa
Mutu baja (f _y)	=	320 MPa
ρ max	=	0,027
ρ min	=	0,0044

➤ Perhitungan Momen dan Gaya Lintang

Dari hasil analisa SAP 90, diperoleh :

$$M_{ut} = -1,154+08 \text{ N.mm}$$

$$M_{ul} = 3,554E+07 \text{ Nmm}$$

$$V_{ut} = 9,765E+03 \text{ kg}$$

$$V_{ul} = 4,434E+03 \text{ kg}$$

➤ Perhitungan Penulangan Utama Balok Anak

☑ Pada tumpuan

$$M_u = -1,154E+08 \text{ Nmm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 22/2 = 539 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{1,154E+8}{0,8 \times 300 \times 539^2} = 1,6553 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 24,6}{320} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times 24,6}} \right)$$

$$= 0,0054 < \rho_{\text{max}} = 0,027 \dots\dots\dots (\text{tulangan tunggal})$$

$$\text{Gunakan } \rho_{\text{perlu}} = 0,0054$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d = 0,0054 \times 30 \times 53,9 \\ &= 8,72 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Pakai tulangan 3 D.22 (As ada = 11,44 cm}^2\text{)}$$

Luas tulangan ini nantinya akan ditambah dengan tulangan memanjang akibat torsi (A1).

☑ Pada lapangan

$$M_u = 3,554E+07 \text{ Nmm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - 22/2 = 539 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad \text{..... (bE untuk konstruksi balok T)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{3,554E+7}{0,8 \times 300 \times 539^2} = 0,0764$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 24,6}{320} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,0764}{0,85 \times 24,6}} \right)$$

$$= 0,0002 < \rho_{\text{min}} = 0,0044 \quad \text{..... (tulangan tunggal)}$$

$$\text{Gunakan } \rho_{\text{min}} = 0,0044$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0044 \times 30 \times 53,9$$

$$= 7,11 \text{ cm}^2$$

Pakai tulangan 3 D.22 (As ada = 11,4 cm²)

Luas tulangan ini nantinya akan ditambah dengan tulangan memanjang akibat torsi (A1).

Kontrol Balok T

$$- b_E = L/4 = 800/4$$

$$= 200 \text{ cm}$$

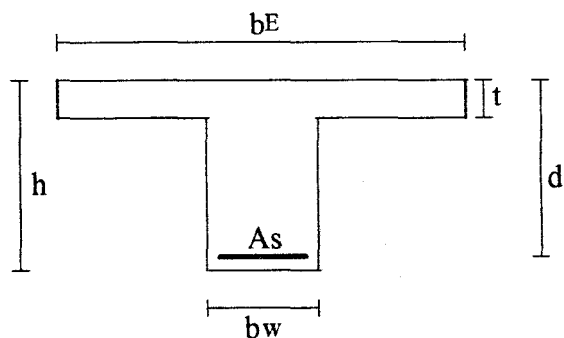
$$- b_E = b_w + 16 \cdot t$$

$$= 30 + 16 \times 12$$

$$= 222 \text{ cm}$$

$$- b_E = b_w + L_n = 30 + 200$$

$$= 230 \text{ cm}$$



Dari ketiga harga bE yang diperoleh di atas diambil harga yang terkecil yaitu bE = 200 cm

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_E} = \frac{711 \times 320}{0,85 \times 24,6 \times 300}$$

$$= 36,27 < t = 120 \text{ mm} \quad \text{..... (balok T palsu)}$$

Selanjutnya untuk perhitungan penulangan lentur balok anak yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 s/d Tabel 4.10.

4.3.3.2. Penulangan Geser dan Torsi

Struktur yang menerima beban geser direncanakan menurut ketentuan SK SNI '91, Ayat

3.4.1, butir 1, sebagai berikut :

$$V_u < \phi \cdot V_n$$

dimana :

$$V_n = V_c + V_s$$

- V_c adalah kuat geser nominal beton dan
- V_s adalah kuat geser nominal tulangan geser

☐ Sumbangan Kekuatan Geser Beton (V_c)

Dalam hal ini direncanakan untuk struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja, rumus yang berlaku adalah :

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad \dots\dots \quad (\text{SK SNI '91, Ayat 3.4.3, butir 1 sub butir 1})$$

☐ Kriteria Desain Lentur dan Geser

Menurut SK SNI '91 adalah sebagai berikut :

1. Jika $V_u < 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$, maka tulangan geser hanya dipasang praktis.
2. Jika $0,5 \cdot \phi \cdot V_c < V_u < \phi \cdot V_c$, maka tulangan geser dipasang minimum :

$$A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad \dots\dots\dots \quad (\text{SK SNI '91, Ayat 3.4.5, butir 5 sub butir 1})$$

3. Jika $V_u > \phi \cdot V_c$, maka dipasang tulangan geser dengan luas tulangan :

$$A_v = \frac{s \cdot V_s}{f_y \cdot d} \quad \dots\dots\dots \quad (\text{SK SNI '91, Ayat 3.4.5, butir 6 sub butir 1})$$

☐ Tulangan Torsi Minimum

Pada perencanaan balok anak ini, torsi yang terjadi relatif kecil sehingga hanya dipasang minimum. Adapun dasar perencanaannya adalah dari SK SNI '91, Ayat 3.4.5, butir 5 sub butir 5.

Dalam hal ini A_v dianggap = 0, karena perhitungannya tersendiri, sehingga persamaan menjadi :

$$2.A_t = \frac{b_w.s}{3.f_y}$$

Bila $A_v \geq A_{v \text{ min}}$, maka tulangan melintang ini dapat diabaikan.

Sehingga untuk selanjutnya pemasangan tulangan torsi adalah dengan menggunakan tulangan memanjang (longitudinal) :

$$A_l = 2.A_t \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right) \dots\dots \text{(SK SNI '91, Ayat 3.4.6, butir 9 sub butir 3)}$$

dimana :

- x_1 = jarak pusat ke pusat terpendek dari suatu sengkang tertutup
- y_1 = jarak pusat ke pusat terpanjang dari suatu sengkang tertutup

Tulangan longitudinal ini dikombinasikan dengan tulangan memanjang lainnya.

☐ Contoh Perhitungan

Diambil balok anak BA.16 sebagai kelanjutan contoh perhitungan sebelumnya :

♦ Penulangan Geser

Dari hasil analisa SAP 90, diperoleh :

- Gaya geserberfaktor pada tumpuan = $9,765E+03$ kg
- Tulangan geser = $\phi 10$
- A_v ada $= 2.(0,25.\pi.10^2) = 157 \text{ mm}^2$

Sumbangan kekuatan geser beton :

$$\begin{aligned}
 \phi.V_c &= \phi.1/6.\sqrt{f_c'} .b_w.d \\
 &= 0,6 \times 1/6 \times \sqrt{24,6} \times 300 \times 539 \\
 &= 8,02 \text{ E}+03 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$V_u > \phi.V_c$ Butuh tulangan geser

Gaya geser yang harus diterima oleh tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 \phi.V_s &= V_u - \phi.V_c \\
 &= 9,765\text{E}+03 - 8,02\text{E}+03 \\
 &= 1,745\text{E}+03 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{\phi.A_v.f_y.d}{\phi.V_s} = \frac{0,6 \times 157 \times 320 \times 539}{1745} \\
 &= 93 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Spasi maksimum = $d / 2 = 539 / 2 = 27 \text{ cm}$

Pasang tulangan geser ϕ 10 - 25 cm

♦ Penulangan Torsi Minimum

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ min} &= \frac{b_w.s}{3.f_y} = \frac{300 \times 250}{3 \times 320} \\
 &= 78,125 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_v \text{ ada} = 157 \text{ mm}^2 > 78,125 \text{ mm}^2$ Tulangan melintang,

(Torsi dapat diabaikan).

Tulangan Memanjang (Longitudinal)

$$x_1 = 300 - 2 \times 40 - 10 = 210 \text{ mm}$$

$$y_1 = 600 - 2 \times 40 - 10 = 510 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \left(\frac{b_w}{3.f_y} \right) \cdot (x_1 + y_1) = \left(\frac{300}{3 \times 320} \right) \times (210 + 510) \\
 &= 2,25 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal ini disebarkan pada ketiga bagian penampang balok yaitu pada tulangan atas, tulangan tengah dan tulangan bawah dan ditambahkan pada tulangan akibat lentur.

$$\begin{aligned}\text{Masing-masing sisi dipasang } 1/4.A_l &= 2,25 / 4 \\ &= 0,56 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

♦ Design akhir balok anak

- Tulangan atas :

$$\begin{aligned}\text{As total} &= \text{As lentur} + A_l \\ &= 8,72 + 0,56 = 9,28 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan 3 D.22 (As ada = 11,4 cm²)

- Tulangan tengah :

$$\text{Dipasang tulangan praktis 2 D.16 (As ada = 4,02 cm}^2\text{)}$$

- Tulangan bawah :

$$\begin{aligned}\text{As total} &= \text{As lentur} + A_l \\ &= 7,11 + 0,56 = 7,67 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan 3D.22 (As ada = 11,4 cm²)

Untuk penulangan geser dan torsi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 s/d Tabel 4.10.

4.3.4. Kontrol Terhadap Lendutan

Kontrol terhadap lendutan untuk balok anak ini diperhitungkan sesuai dengan syarat tinggi minimum menurut SK SNI '91, Ayat 3.2.5, Tabel 3.2.5 (a).

Untuk selanjutnya hasil perhitungan dari kontrol lendutan untuk semua tipe balok anak langsung ditabelkan seperti pada Tabel 4.11.

4.3.5. Kontrol Terhadap Retak

Dasar perencanaan untuk kontrol retak ini telah diatur dalam SK SNI '91, Ayat 3.3.6, butir 4.

- ☐ Balok dalam ruangan

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

dimana:

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \times 320 = 192 \text{ MPa}$$

$$d_c = 40 + 10 + 0,5 \times 22 = 61 \text{ mm}$$

$$A_c = 2 \cdot d_c \cdot b_w / \text{jumlah tulangan}$$

$$= 2 \times 61 \times 300 / 3 = 12200 \text{ mm}^2$$

maka :

$$\begin{aligned} z &= 192 \times \sqrt[3]{61 \times 12200} \\ &= 17,399 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

Jadi retak pada beton tidak perlu diperiksa.

4.3.6. Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran dalam hal ini harus diperhitungkan untuk menjamin agar tidak terjadi slip antara beton dan tulangan.

Syarat-syarat mengenai panjang penyaluran dan penyambungan tulangan diatur dalam SK SNI '91, Pasal 3.5.

- ☐ Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Panjang penyaluran dasar tulangan untuk baja tulangan deform D.22 adalah sebagai berikut :

SK SNI '91, Ayat 3.5.2, butir 2

$$\begin{aligned} l_{db} &= 0,02 \cdot A_b \cdot f_y / \sqrt{f_c'} \\ &= 0,02 \times 380 \times 320 / \sqrt{24,6} \end{aligned}$$

$$= 490,34 \dots\dots\dots 50 \text{ cm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$l_{db} = 0,06 \cdot d_b \cdot f_y$$

$$= 0,06 \times 22 \times 320$$

$$= 422,4 \text{ mm} \dots\dots\dots 42 \text{ cm}$$

SK SNI '91, Ayat 3.5.2, butir 3 sub butir 1

Akibat top bar effect (tulangan atas) :

$$l_d = 1,4 \times l_{db} = 1,4 \times 490,34 = 686,476 \dots\dots\dots 69 \text{ cm}^2$$

☐ Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Panjang penyaluran dasar untuk tulangan D.22 adalah :

SK SNI '91, Ayat 3.5.3, butir 2

$$l_{db} = \frac{d_b \cdot f_y}{4 \cdot \sqrt{f_c'}} = \frac{22 \times 320}{4 \times \sqrt{24,6}}$$

$$= 354,85 \text{ mm} \dots\dots\dots 36 \text{ cm}$$

tetapi tidak boleh kurang dari

$$l_{db} = 0,04 \cdot d_b \cdot f_y$$

$$= 0,04 \times 22 \times 320 = 281,6 = 29 \text{ cm}$$

☐ Panjang Penyaluran Kait Standart Dalam Tarik

Panjang penyaluran dasar kait standart (hook) dari tulangan D.22 adalah :

SK SNI '91, Ayat 3.5.5.

$$l_{hb} = 100 \cdot d_b / \sqrt{f_c'} = 100 \times 22 / \sqrt{24,6} = 443,563 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran hook :

$$l_{dh} = l_{hb} (f_y / 400) \times 0,7$$

$$= 443,563 \times (320 / 400) \times 0,7 = 248,395 \text{ mm} \dots\dots\dots 25 \text{ cm}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$ldh = 8.db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm} = 18 \text{ cm}$$

☐ Panjang Penyaluran Tulangan Momen Positif

SK SNI '91, Ayat 3.5.11 menentukan bahwa sepertiga dari tulangan tarik pada momen positif diteruskan pada jarak yang terbesar antara :

- 150 mm = 15 cm
- d = 539 mm = 54 cm (menentukan)
- 12.db = 12 x 22 = 264 mm = 26,4 cm

☐ Panjang Penyaluran Tulangan Momen Negatif

SK SNI '91, Ayat 3.5.12 menentukan bahwa sepertiga dari tulangan tarik pada momen negatif diteruskan pada jarak yang terbesar antara :

- d = 539mm = 55 cm (menentukan)
- 12.db = 12 x 22 = 264 mm = 26,4 cm
- $l_n / 16 = 800 / 16 = 500 \text{ mm} = 50 \text{ cm}$

TABEL 4.5. PERIHIITUNGAN PENULANGAN BALOK ANAK ATAP

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
Tebal pelat lantai = 100 mm

Penutup beton (dc) = 40 mm
Tulangan utama = D.16
Begel = D.8

Rho max. = 0.0270
Rho min. = 0.0044

Tipe Balok Anak	Dimensi		Daerah	d (mm)	Lebar Efektif (mm)	Mu (Nmm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As lentur perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
	b (cm)	h (cm)															
BA.1	30	60	Tump.	544	300	-7.811E+07	15.30	1.10	0.0035	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-
	30	60	Lap.	544	2000	2.430E+07	15.30	0.05	0.0002	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	5.92	-
	30	60	Tump.	544	300	-7.811E+07	15.30	1.10	0.0035	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-
BA.2	30	60	Tump.	544	300	-1.185E+08	15.30	1.67	0.0054	0.0054	8.88	0.56	9.44	5 D 16	10.05	-	-
	30	60	Lap.	544	2000	6.262E+07	15.30	0.13	0.0004	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	5.92	-
	30	60	Tump.	544	300	-1.185E+08	15.30	1.67	0.0054	0.0054	8.88	0.56	9.44	5 D 16	10.05	-	-
BA.3	30	60	Tump.	544	300	-9.131E+07	15.30	1.29	0.0041	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-
	30	60	Lap.	544	1625	5.814E+07	15.30	0.15	0.0005	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	7.29	-
	30	60	Tump.	544	300	-7.975E+07	15.30	1.12	0.0036	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-
BA.4	30	60	Tump.	544	300	-5.200E+07	15.30	0.73	0.0023	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-
	30	60	Lap.	544	1250	1.882E+07	15.30	0.06	0.0002	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	9.48	-
	30	60	Tump.	544	300	-5.910E+07	15.30	0.83	0.0027	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-
BA.5	30	60	Tump.	544	300	-1.008E+08	15.30	1.42	0.0046	0.0046	7.50	0.56	8.06	5 D 16	10.05	-	-
	30	60	Lap.	544	2000	5.376E+07	15.30	0.11	0.0004	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	4.99	-
	30	60	Tump.	544	300	-1.002E+08	15.30	1.41	0.0046	0.0046	7.46	0.56	8.02	4 D 16	8.04	-	-
BA.6	30	60	Tump.	544	300	-5.701E+07	15.30	0.80	0.0026	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-
	30	60	Lap.	544	1250	1.736E+07	15.30	0.06	0.0002	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	7.98	-
	30	60	Tump.	544	300	-5.701E+07	15.30	0.80	0.0026	0.0044	7.18	0.56	7.74	4 D 16	8.04	-	-

Keterangan :

- * Tulangan torsi longitudinal minimal diambil dari 1/4 Al.
(disebarkan tiap 1/4 Al pada tulangan atas, tengah dan bawah)
- * Untuk tulangan samping (Side Bar) dipasang 2 D.16
- * Untuk tulangan tekan dipasang tulangan praktis 2 D.16

TABEL 4.6. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK ANAK ATAP

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 100 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Begel = D.8

Av ada = 100.5 mm²

$x.l = b - 2d_c - D. \text{ begel}$

$y.l = h - 2d_c - D. \text{ begel}$

Tipe Balok Anak	Dimensi		x.l (mm)	y.l (mm)	Daerah	d (mm)	Vu (kg)	$\phi . V_c$ (kg)	$\phi . V_s$ (kg)	S perlu (cm)	S max. (cm)	S pasang (cm)	Al min. perlu (cm ²)
	b (cm)	h (cm)											
BA1	30	60	212	512	Tump.	544	6.596E+03	8.094E+03	-1.500E+03	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Lap.	544	2.951E+03	8.094E+03	0.000E+00	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Tump.	544	6.595E+03	8.094E+03	-1.500E+03	0	0	0	2.26
BA2	30	60	212	512	Tump.	544	8.720E+03	8.094E+03	6.258E+02	168	27	25	2.26
	30	60	212	512	Lap.	544	4.528E+03	8.094E+03	0.000E+00	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Tump.	544	8.720E+03	8.094E+03	6.258E+02	168	27	25	2.26
BA3	30	60	212	512	Tump.	544	7.524E+03	8.094E+03	-5.705E+02	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Lap.	544	4.598E+03	8.094E+03	0.000E+00	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Tump.	544	7.129E+03	8.094E+03	-9.652E+02	0	0	0	2.26
BA4	30	60	212	512	Tump.	544	5.808E+03	8.094E+03	-2.287E+03	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Lap.	544	1.420E+02	8.094E+03	0.000E+00	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Tump.	544	6.092E+03	8.094E+03	-2.003E+03	0	0	0	2.26
BA5	30	60	212	512	Tump.	544	8.055E+03	8.094E+03	-3.921E+01	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Lap.	544	3.863E+03	8.094E+03	0.000E+00	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Tump.	544	8.040E+03	8.094E+03	-5.424E+01	0	0	0	2.26
BA6	30	60	212	512	Tump.	544	5.950E+03	8.094E+03	-2.145E+03	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Lap.	544	0.000E+00	8.094E+03	0.000E+00	0	0	0	2.26
	30	60	212	512	Tump.	544	5.950E+03	8.094E+03	-2.145E+03	0	0	0	2.26

TABEL 4.7. PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK ANAK LANTAI 3 - 8

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Tulangan utama = D.22

Begel = D.10

Rho max. = 0.0270

Rho min. = 0.0044

Tipe Balok Anak			Dimensi		Daerah	d (mm)	Lebar Efektif (mm)	Mu (Nmm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As lentur perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
b (cm)	h (cm)																		
BA.7	30	60	Tump.	539	300	-1.154E+08	15.30	1.6553	0.0054	0.0054	8.72	0.56	9.28	3 D 22	11.40	-	-		
	30	60	Lap.	539	2000	3.554E+07	15.30	0.0764	0.0002	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	5.87	-		
	30	60	Tump.	539	300	-1.154E+08	15.30	1.6553	0.0054	0.0054	8.72	0.56	9.28	3 D 22	11.40	-	-		
BA.8	30	60	Tump.	539	300	-1.765E+08	15.30	2.5317	0.0085	0.0085	13.68	0.56	14.24	4 D 22	15.20	-	-		
	30	60	Lap.	539	2000	9.322E+07	15.30	0.2005	0.0006	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	5.87	-		
	30	60	Tump.	539	300	-1.765E+08	15.30	2.5317	0.0085	0.0085	13.68	0.56	14.24	4 D 22	15.20	-	-		
BA.9	30	60	Tump.	539	300	-1.345E+08	15.30	1.9288	0.0063	0.0063	10.24	0.56	10.80	3 D 22	11.40	-	-		
	30	60	Lap.	539	1625	8.597E+07	15.30	0.2276	0.0007	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	7.23	-		
	30	60	Tump.	539	300	-1.179E+08	15.30	1.6908	0.0055	0.0055	8.92	0.56	9.48	3 D 22	11.40	-	-		
BA.10	30	60	Tump.	539	300	-7.807E+07	15.30	1.1196	0.0036	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-		
	30	60	Lap.	539	1250	2.873E+07	15.30	0.0989	0.0003	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	9.39	-		
	30	60	Tump.	539	300	-8.905E+07	15.30	1.2771	0.0041	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-		
BA.11	30	60	Tump.	539	300	-1.001E+08	15.30	1.4363	0.0047	0.0047	7.53	0.56	8.09	3 D 22	11.40	-	-		
	30	60	Lap.	539	1250	5.645E+07	15.30	0.1943	0.0006	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	7.92	-		
	30	60	Tump.	539	300	-1.109E+08	15.30	1.5911	0.0052	0.0052	8.37	0.56	8.93	3 D 22	11.40	-	-		
BA.12	30	60	Tump.	539	300	-1.504E+08	15.30	2.1569	0.0071	0.0071	11.53	0.56	12.09	4 D 22	15.20	-	-		
	30	60	Lap.	539	2000	8.017E+07	15.30	0.1725	0.0005	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	4.95	-		
	30	60	Tump.	539	300	-1.496E+08	15.30	2.1453	0.0071	0.0071	11.46	0.56	12.02	4 D 22	15.20	-	-		
BA.13	30	60	Tump.	539	300	-8.587E+07	15.30	1.2316	0.0040	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-		
	30	60	Lap.	539	1250	2.650E+07	15.30	0.0912	0.0003	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	7.92	-		
	30	60	Tump.	539	300	-8.569E+07	15.30	1.2290	0.0040	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-		
BA.14	30	60	Tump.	539	300	-1.110E+08	15.30	1.5913	0.0052	0.0052	8.37	0.56	8.93	3 D 22	11.40	-	-		
	30	60	Lap.	539	1250	5.644E+07	15.30	0.1943	0.0006	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	7.92	-		
	30	60	Tump.	539	300	-1.002E+08	15.30	1.4364	0.0047	0.0047	7.53	0.56	8.09	3 D 22	11.40	-	-		
BA.15	30	60	Tump.	539	300	-8.906E+07	15.30	1.2772	0.0041	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-		
	30	60	Lap.	539	1250	2.872E+07	15.30	0.0989	0.0003	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	7.92	-		
	30	60	Tump.	539	300	-7.807E+07	15.30	1.1197	0.0036	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-		

Keterangan :

- * Tulangan torsi longitudinal minimal diambil dari 1/4 Al.
(disebarikan tiap 1/4 Al pada tulangan atas, tengah dan bawah)
- * Untuk tulangan samping (Side Bar) dipasang 2 D.16
- * Untuk tulangan tekan dipasang tulangan praktis 2 D.22

TABEL 4.8. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK ANAK LANTAI 3 - 8

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Begel = D.10

Av ada = 157 mm² $x.l = b - 2d_c - D. \text{ begel}$ $y.l = h - 2d_c - D. \text{ begel}$

Tipe Balok Anak	Dimensi		x.l (mm)	y.l (mm)	Daerah	d (mm)	Vu (kg)	$\phi . V_c$ (kg)	$\phi . V_s$ (kg)	S perlu (cm)	S max. (cm)	S pasang (cm)	Al min. perlu (cm ²)
	b (cm)	h (cm)											
BA.7	30	60	210	510	Tump.	539	9.765E+03	8.020E+03	1.745E+03	93	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	4.434E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	9.765E+03	8.020E+03	1.745E+03	93	27	25	2.25
BA.8	30	60	210	510	Tump.	539	1.299E+04	8.020E+03	4.972E+03	33	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	6.744E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.299E+04	8.020E+03	4.972E+03	33	27	25	2.25
BA.9	30	60	210	510	Tump.	539	1.107E+04	8.020E+03	3.046E+03	53	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	6.783E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.050E+04	8.020E+03	2.480E+03	66	27	25	2.25
BA.10	30	60	210	510	Tump.	539	8.763E+03	8.020E+03	7.429E+02	219	27	0	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	2.196E+02	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	9.202E+03	8.020E+03	1.182E+03	137	27	0	2.25
BA.11	30	60	210	510	Tump.	539	1.076E+04	8.020E+03	2.735E+03	59	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	2.204E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.119E+04	8.020E+03	3.167E+03	51	27	25	2.25
BA.12	30	60	210	510	Tump.	539	1.201E+04	8.020E+03	3.992E+03	41	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	5.764E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.199E+04	8.020E+03	3.969E+03	41	27	25	2.25
BA.13	30	60	210	510	Tump.	539	8.986E+03	8.020E+03	9.662E+02	168	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	3.640E+00	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	8.979E+03	8.020E+03	9.589E+02	169	27	25	2.25
BA.14	30	60	210	510	Tump.	539	1.119E+04	8.020E+03	3.167E+03	51	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	1.772E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.075E+04	8.020E+03	2.735E+03	59	27	25	2.25
BA.15	30	60	210	510	Tump.	539	8.906E+03	8.020E+03	8.854E+02	183	27	0	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	2.872E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	0	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	7.807E+03	8.020E+03	-2.129E+02	-763	0	0	2.25

TABEL 4.9. PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK ANAK LANTAI 1 - 2 & 9 - 10

fc' = 24.6 MPa

Penutup beton (dc) = 40 mm

fy = 320 MPa

Tulangan utama = D.22

Rho max. = 0.0270

Tebal pelat lantai = 120 mm

Begel = D.10

Rho min. = 0.0044

Tebal pelat lantai = 120 mm			Begel = D.10		Kho min. = 0.0044												
Tipe Balok Anak	Dimensi		Daerah	d (mm)	Lebar Efektif (mm)	Mu (Nmm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As lentur perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
	b (cm)	h (cm)															
BA.16	30	60	Tump.	539	300	-1.154E+08	15.30	1.6553	0.0054	0.0054	8.72	0.56	9.28	3 D 22	11.40	-	-
	30	60	Lap.	539	2000	3.554E+07	15.30	0.0764	0.0002	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	5.87	-
	30	60	Tump.	539	300	-1.154E+08	15.30	1.6553	0.0054	0.0054	8.72	0.56	9.28	3 D 22	11.40	-	-
BA17	30	60	Tump.	539	300	-1.765E+08	15.30	2.5318	0.0085	0.0085	13.68	0.56	14.24	4 D 22	15.20	-	-
	30	60	Lap.	539	2000	9.322E+07	15.30	0.2005	0.0006	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	5.87	-
	30	60	Tump.	539	300	-1.765E+08	15.30	2.5318	0.0085	0.0085	13.68	0.56	14.24	4 D 22	15.20	-	-
BA18	30	60	Tump.	539	300	-1.345E+08	15.30	1.9288	0.0063	0.0063	10.24	0.56	10.80	3 D 22	11.40	-	-
	30	60	Lap.	539	1625	8.597E+07	15.30	0.2276	0.0007	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	7.23	-
	30	60	Tump.	539	300	-1.179E+08	15.30	1.6908	0.0055	0.0055	8.92	0.56	9.48	3 D 22	11.40	-	-
BA19	30	60	Tump.	539	300	-7.807E+07	15.30	1.1196	0.0036	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-
	30	60	Lap.	539	1250	2.873E+07	15.30	0.0989	0.0003	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	9.39	-
	30	60	Tump.	539	300	-8.905E+07	15.30	1.2771	0.0041	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-
BA20	30	60	Tump.	539	300	-1.504E+08	15.30	2.1570	0.0071	0.0071	11.53	0.56	12.09	4 D 22	15.20	-	-
	30	60	Lap.	539	2000	8.017E+07	15.30	0.1725	0.0005	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	4.95	-
	30	60	Tump.	539	300	-1.496E+08	15.30	2.1451	0.0071	0.0071	11.46	0.56	12.02	4 D 22	15.20	-	-
BA21	30	60	Tump.	539	300	-8.582E+07	15.30	1.2308	0.0040	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-
	30	60	Lap.	539	1250	2.646E+07	15.30	0.0911	0.0003	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	7.92	-
	30	60	Tump.	539	300	-8.582E+07	15.30	1.2308	0.0040	0.0044	7.11	0.56	7.67	3 D 22	11.40	-	-

Keterangan :

- * Tulangan torsi longitudinal minimal diambil dari 1/4 Al
(disebarkan tiap 1/4 Al pada tulangan atas, tengah dan bawah)
- * Untuk tulangan samping (Side Bar) dipasang 2 D.16
- * Untuk tulangan tekan dipasang tulangan praktis 2 D.22

TABEL 4.10. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK ANAK LANTAI 1 - 2 & 9 - 10

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm
 Begel = D.10
 A_v ada = 157 mm²

$x.1 = b - 2d_c - D. \text{ begel}$
 $y.1 = h - 2d_c - D. \text{ begel}$

Tipe Balok Anak	Dimensi		x.1 (mm)	y.1 (mm)	Daerah	d (mm)	Vu (kg)	$\phi \cdot V_c$ (kg)	$\phi \cdot V_s$ (kg)	S perlu (cm)	S max. (cm)	S pasang (cm)	Al min. perlu (cm ²)
	b (cm)	h (cm)											
BA.16	30	60	210	510	Tump.	539	9.765E+03	8.020E+03	1.745E+03	93	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	4.434E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	27	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	9.765E+03	8.020E+03	1.745E+03	93	27	25	2.25
BA.17	30	60	210	510	Tump.	539	1.299E+04	8.020E+03	4.970E+03	33	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	6.744E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	27	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.299E+04	8.020E+03	4.970E+03	33	27	25	2.25
BA.18	30	60	210	510	Tump.	539	1.107E+04	8.020E+03	3.050E+03	53	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	6.783E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	27	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.050E+04	8.020E+03	2.480E+03	66	27	25	2.25
BA.19	30	60	210	510	Tump.	539	8.763E+03	8.020E+03	7.430E+02	219	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	2.196E+02	8.020E+03	0.000E+00	0	27	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	9.202E+03	8.020E+03	1.182E+03	137	27	25	2.25
BA.20	30	60	210	510	Tump.	539	1.201E+04	8.020E+03	3.990E+03	41	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	5.764E+03	8.020E+03	0.000E+00	0	27	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	1.199E+04	8.020E+03	3.970E+03	41	27	25	2.25
BA.21	30	60	210	510	Tump.	539	8.983E+03	8.020E+03	9.630E+02	169	27	25	2.25
	30	60	210	510	Lap.	539	0.000E+00	8.020E+03	0.000E+00	0	27	0	2.25
	30	60	210	510	Tump.	539	8.983E+03	8.020E+03	9.630E+02	169	27	25	2.25

TABEL 4.12. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER BALOK ANAK BASEMENT

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 70 mm

Begel = D.10

Av ada = 157 mm^2

$x.1 = b - 2d_c - D. \text{ begel}$

$y.1 = h - 2d_c - D. \text{ begel}$

Tipe Balok Anak	Dimensi		x.1 (mm)	y.1 (mm)	Daerah	d (mm)	Vu (kg)	$\phi \cdot V_c$ (kg)	$\phi \cdot V_s$ (kg)	S perlu (cm)	S max. (cm)	S pasang (cm)	Al min. perlu (cm^2)
	b (cm)	h (cm)											
BA 22	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.610E+04	7.551E+03	1.854E+04	8.249	25.4	8	1.88
	30	60	150	450	Lap.	507.5	1.002E+04	7.551E+03	0.000E+00	0.000	0.0	0	1.88
	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.610E+04	7.551E+03	1.854E+04	8.249	25.4	8	1.88
BA 23	30	60	150	450	Tump.	507.5	3.504E+04	7.551E+03	2.749E+04	5.564	25.4	5	1.88
	30	60	150	450	Lap.	507.5	1.818E+04	7.551E+03	0.000E+00	0.000	0.0	0	1.88
	30	60	150	450	Tump.	507.5	3.504E+04	7.551E+03	2.749E+04	5.564	25.4	5	1.88
BA 24	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.930E+04	7.551E+03	2.175E+04	7.034	25.4	7	1.88
	30	60	150	450	Lap.	507.5	1.804E+04	7.551E+03	0.000E+00	0.000	0.0	0	1.88
	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.786E+04	7.551E+03	2.030E+04	7.535	25.4	7	1.88
BA 25	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.406E+04	7.551E+03	1.651E+04	9.269	25.4	9	1.88
	30	60	150	450	Lap.	507.5	6.232E+02	7.551E+03	0.000E+00	0.000	0.0	0	1.88
	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.530E+04	7.551E+03	1.775E+04	8.618	25.4	8	1.88
BA 26	30	60	150	450	Tump.	507.5	3.244E+04	7.551E+03	2.489E+04	6.145	25.4	6	1.88
	30	60	150	450	Lap.	507.5	1.558E+04	7.551E+03	0.000E+00	0.000	0.0	0	1.88
	30	60	150	450	Tump.	507.5	3.238E+04	7.551E+03	2.483E+04	6.162	25.4	6	1.88
BA 27	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.468E+04	7.551E+03	1.713E+04	8.931	25.4	8	1.88
	30	60	150	450	Lap.	507.5	0.000E+00	7.551E+03	0.000E+00	0.000	0.0	0	1.88
	30	60	150	450	Tump.	507.5	2.468E+04	7.551E+03	1.713E+04	8.931	25.4	8	1.88

BAB V

PERENCANAAN BALOK PRATEKAN

5.1. DATA-DATA PERENCANAAN BALOK PRATEKAN

- ♦ Mutu beton : $f_c' = 33,8 \text{ MPa}$
- ♦ Baja tulangan non prategang : $f_y = 320 \text{ MPa}$.
- ♦ Tendon prategang dari sistem kawat untai VSL Grade 270 dengan $f_{pu} = 1862 \text{ MPa}$.
- ♦ Ukuran penampang sebagai disain awal adalah :
Lebar = 50 cm dan tinggi = 90 cm.

5.2. DISAIN PENDAHULUAN

Balok pratekan yang akan didisain dalam hal ini adalah bukan pada keseluruhan balok utama, namun hanya pada balok utama lantai 9, 10 dan atap, yang mempunyai bentang balok 16 meter.

Balok-balok beton pratekan direncanakan memakai sistem pasca-tarik (*post-tension*) dengan tendon terekat (*bonded tendon*). Sedang metode pelaksanaannya dengan cara "cetak di tempat" (*cast-in-place*).

Sistem prategang sebagian (*partial prestress*) diterapkan pada balok-balok yang dirancang. Dan sebagai konsekwensi dengan mengijinkan adanya tarikan pada beton, tulangan-tulangan lunak (non-prategang) dipasang pada daerah-daerah tarik tersebut yang juga untuk meningkatkan kekuatan batas penampang serta dipersiapkan untuk mengatasi momen yang berbalik arah pada saat terjadi gempa.

Untuk mutu beton K-400 (beton normal), dan di-jacking pada umur 14 hari, parameter-parameter yang ditetapkan oleh SK SNI '91, Ayat 3.11.4 adalah :

$$\square \quad f_c' = 33,8 \text{ MPa} \quad \dots\dots\dots E_c = 4700 \cdot \sqrt{33,8} = 27325 \text{ MPa}$$

$$f_{ci}' = 0,88 \cdot 33,8 = 29,74 \text{ MPa}$$

♦ Tegangan-tegangan beton yang diijinkan :

1. Segera setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan)

$$\text{Tekan} = 0,6 \cdot f_{ci}' = 0,6 \cdot 29,74 = 17,84 \text{ MPa}$$

$$\text{Tarik} = 0,25 \cdot \sqrt{f_{ci}'} = 0,25 \cdot \sqrt{29,74} = 1,36 \text{ MPa}$$

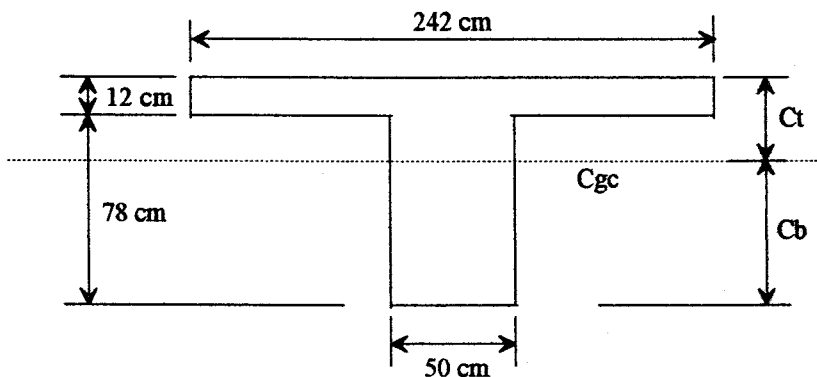
2. Setelah terjadi seluruh kehilangan prategang pada beban kerja

$$\text{Tekan} = 0,45 \cdot f_c' = 0,45 \cdot 33,8 = 15,21 \text{ MPa}$$

$$\text{Tarik} = 0,5 \cdot \sqrt{f_c'} = 0,5 \cdot \sqrt{33,8} = 2,91 \text{ MPa}$$

Balok-balok pratekan direncanakan seluruhnya dengan dimensi 500 x 900 mm².

□ Parameter-parameter penampang balok pratekan



Nilai-nilai properti penampang yang diperhitungkan adalah seperti di bawah ini :

$$0,12 \cdot 2,42 = 0,2904 \cdot 0,060 = 0,0174$$

$$0,78 \cdot 0,50 = 0,3900 \cdot 0,510 = 0,1989$$

$$A_c = 0,6804 \text{ m}^2 \quad S = 0,2163 \text{ m}^3$$

$$C_t = \frac{0,2163}{0,6804} = 0,31794 \text{ m}$$

$$C_b = 0,900 - 0,31794 = 0,58206 \text{ m}$$

$$0,2904 \cdot (0,12^2 / 12 + 0,258^2) = 0,0196787 \text{ m}^4$$

$$0,3900 \cdot (0,78^2 / 12 + 0,192^2) = 0,0341590 \text{ m}^4$$

$$I = 0,0538377 \text{ m}^4$$

$$r^2 = \frac{0,0538377}{0,6804} = 0,0791265 \text{ m}^2$$

$$k_t = \frac{0,0791265}{0,58206} = 0,13594 \text{ m} : Z_b = \frac{0,0538377}{0,58206} = 0,092495 \text{ m}^3$$

$$k_b = \frac{0,0791265}{0,31794} = 0,24887 \text{ m} : Z_t = \frac{0,0538377}{0,31794} = 0,169332 \text{ m}^3$$

5.3. PENENTUAN GAYA PRATEKAN/PRATEGANG DAN LETAK KABEL

5.3.1. Penentuan Gaya Pratekan Awal

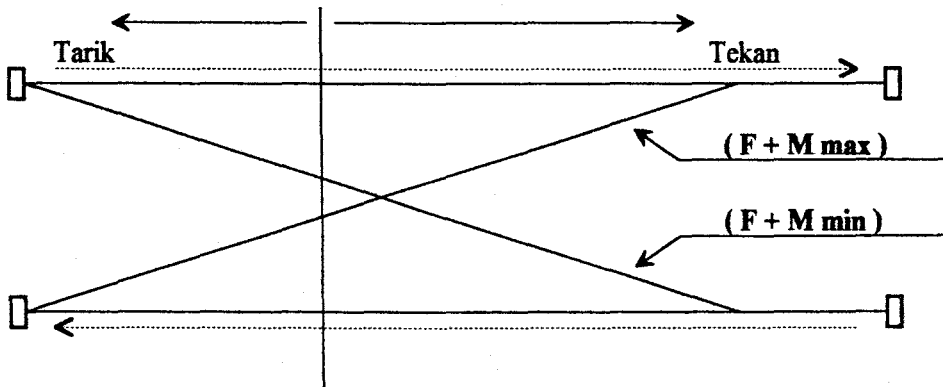
Dalam perencanaan balok pratekan, peninjauan pembebanan tidak cukup hanya melihat besar beban luar baik yang berupa beban mati maupun beban hidup yang bekerja saja, tetapi perlu diperhatikan juga kombinasi antara beban luar dan gaya pratekan yang diterima beton. Keadaan balok pratekan yang paling kritis pada umumnya terjadi pada dua kondisi pembebanan, yaitu pembebanan awal (*initial loading*) dan pembebanan akhir (*final loading*).

Yang dimaksud dengan kondisi pembebanan awal adalah kondisi pembebanan pada saat gaya pratekan ditransfer pada beton. Beban yang bekerja hanya berupa beban mati saja karena beban hidup belum bekerja yang akan memberikan momen minimum (M_{\min}). Pada saat ini gaya pratekan adalah maksimum dan kekuatan beton adalah minimum karena kekuatan beton belum penuh.

Yang dimaksud dengan kondisi pembebanan akhir adalah kondisi dimana beban luar yaitu beban mati dan beban hidup sudah sepenuhnya bekerja dan kehilangan pratekan sudah terjadi.

Pada saat ini beban luar adalah maksimum yaitu yang memberikan momen maksimum (M_{\max}) dan gaya pratekan adalah minimum.

Kedua kondisi pembebanan tersebut dapat dinyatakan seperti Gambar 5.1. pada halaman berikut.



GAMBAR 5.1. DIAGRAM TEGANGAN DIBAWAH KONDISI EKSTRIM

Tegangan yang terjadi pada masing-masing keadaan tersebut tidak boleh melebihi ketentuan tegangan yang diijinkan seperti tersebut di atas yaitu :

- ♦ Untuk tegangan tarik, tegangan yang terjadi \leq tegangan tarik ijin.
- ♦ Untuk tegangan tekan, tegangan yang terjadi \leq tegangan tekan ijin.

Untuk mendapatkan harga besarnya gaya pratekan yang diperlukan, dilakukan dahulu analisa struktur tanpa adanya gaya pratekan untuk mengetahui besar M_{\min} dan M_{\max} .

Besarnya gaya pratekan dan eksentrisitas yang diberikan adalah sedemikian rupa sehingga baik pada kondisi pembebanan awal maupun kondisi pembebanan akhir, tegangan yang terjadi tidak melanggar ketentuan tegangan ijin. Karena masing-masing kondisi tersebut di atas mempunyai dua syarat batas yaitu tegangan tarik maksimum dan tegangan tekan maksimum maka

besarnya gaya pratekan awal dan eksentrisitasnya harus memenuhi lima persamaan sebagai berikut :

☐ Syarat kondisi pada saat *jacking* (*inisial*)

$$- e_o \leq k_b + \left(\frac{1}{F_i} \right) (M_{\min} - \sigma_{ti} \cdot Z_t) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$- e_o \leq k_t + \left(\frac{1}{F_i} \right) (M_{\min} - \sigma_{ci} \cdot Z_b) \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

☐ Syarat kondisi pada saat beban hidup bekerja

$$- e_o \leq k_b + \left(\frac{1}{F} \right) (M_{\max} - \sigma_{cs} \cdot Z_t) \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

$$- e_o \leq k_t + \left(\frac{1}{F} \right) (M_{\max} + \sigma_{ts} \cdot Z_b) \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

☐ Syarat eksentrisitas penampang maximum

$$- e_o \leq (e_o)_{\max} = C_b - d_c \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

Dengan menggambarkan hubungan antara e_o dan $1/F_i$ dari persamaan tersebut, maka akan diperoleh besarnya gaya *jacking* yang dibutuhkan pada daerah tersebut. Persamaan 5.1 s/d 5.5 adalah untuk momen positif. Sedangkan untuk momen negatif tetap memakai persamaan 5.1 s/d 5.5 tetapi dengan membalik letak kern atas dan kern bawahnya dan mengubah tanda momen dari negatif menjadi positif.

5.3.2. Penentuan Letak Kabel (*Cable Lay Out*)

Penentuan besarnya gaya pratekan dan eksentrisitas yang diperlukan hanya didasarkan pada beberapa potongan kritis, yaitu pada tumpuan kiri, tengah bentang dan tumpuan kanan. Sehingga untuk titik-titik lain sepanjang bentang perlu ditentukan daerah limit kabel berdasarkan gaya yang bekerja sedemikian sehingga tegangan ijin tidak dilampaui.

Tegangan yang bekerja pada titik berat beton akibat gaya pratekan awal dan gaya pratekan efektif adalah :

$$\sigma_{gi} = \frac{F_i}{A_c}, \text{ sehingga } F_i = \sigma_{gi} \cdot A_c$$

$$\sigma_g = \frac{F_e}{A_c} = \frac{\eta \cdot F_i}{A_c}, \text{ sehingga } \eta \cdot F_i = \sigma_g \cdot A_c$$

Persamaan 5.1 s/d 5.4 dapat dinyatakan dalam harga σ_{gi} dan σ_g sbb:

$$- e_o - \frac{M_{min}}{F_i} \leq k_b \left(1 - \frac{\sigma_{ti}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.6)$$

$$- e_o - \frac{M_{min}}{F_i} \leq k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.7)$$

$$- e_o - \frac{M_{max}}{F} \geq k_b \left(1 - \frac{\sigma_{cs}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.8)$$

$$- e_o - \frac{M_{max}}{F} \geq k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ts}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.9)$$

Persamaan sebelah kanan menunjukkan besarnya eksentrisitas gaya C dari beton untuk kedua kondisi beban yang ekstrim. Sehingga persamaan 5.6 s/d 5.9 menggambarkan limit atas dan limit bawah dari tendon. Dengan daerah limit kern atas (k_t') dan kern bawah (k_b') diambil berdasarkan :

☐ Harga k_t' diambil yang terbesar dari :

$$\diamond k_b \left(1 - \frac{\sigma_{cs}}{\sigma_g} \right)$$

$$\diamond k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ts}}{\sigma_g} \right)$$

☐ Harga k_b' diambil yang terkecil dari :

$$\diamond k_b \left(1 - \frac{\sigma_{ti}}{\sigma_{gi}} \right)$$

$$\diamond k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{gi}} \right)$$

Sehingga dari dua kondisi beban ekstrim didapat :

$$e_o - \frac{M_{maz}}{F} \geq k_t'$$

$$e_o - \frac{M_{\min}}{F_i} \leq k_b'$$

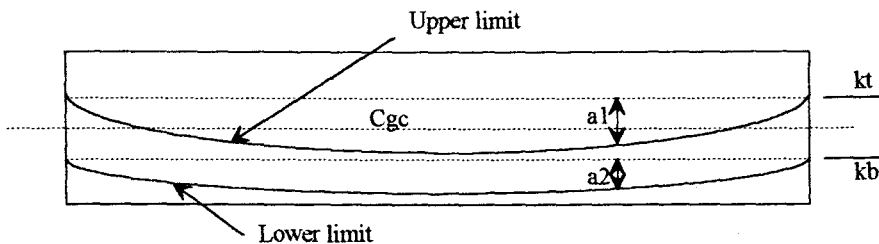
Maka penempatan tendon harus berada sesuai dengan persamaan :

$$k_t' + \frac{M_{\max}}{F} \leq e_o \leq k_b' + \frac{M_{\min}}{F_i} \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

Dimana : $k_t' + \frac{M_{\max}}{F} = e_o U = \text{Limit atas}$

$$k_b' + \frac{M_{\min}}{F_i} = e_o L = \text{Limit bawah}$$

Daerah limit kabel secara umum dapat ditunjukkan seperti pada gambar berikut :



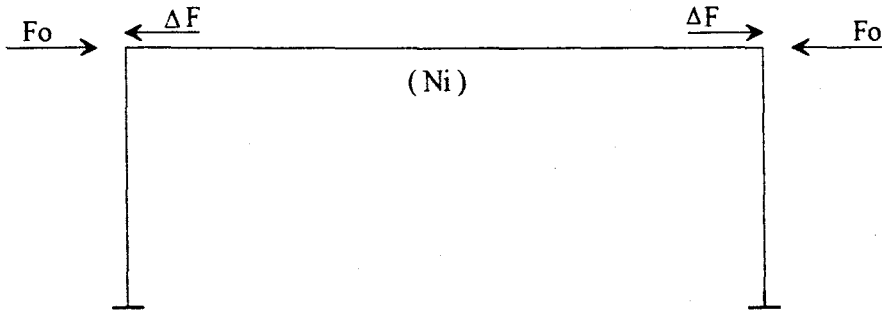
GAMBAR 5.2. DAERAH LIMIT KABEL PADA BALOK PRATEKAN

5.4. PERHITUNGAN GAYA PRATEGANG YANG DIBUTUHKAN

Permasalahan yang ada pada portal balok pratekan dengan adanya hubungan monolit antara balok dan kolom adalah timbulnya gaya perlawanan kolom akibat memendeknya balok pratekan. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan gaya pratekan yang diberikan menjadi berkurang karena sebagian pratekanan dipergunakan untuk mengatasi gaya perlawanan kolom.

Memendeknya balok pratekan tersebut disebabkan oleh perpendekan elastis (*elastic shortening*) dan akibat *creep* serta susut. Dimana perpendekan elastis terjadi sesaat setelah balok pratekan di-*jacking*, sedangkan *creep* serta susut terjadi sesuai dengan fungsi waktu. Kehilangan pratekan langsung pada balok yang sedang di-*jack* dapat diatasi dengan menambah gaya *jacking*-nya. Sedangkan untuk kehilangan tak langsung balok yang telah di-*jack* harus diperhitungkan sebagai pengurangan gaya pratekan.

Untuk menghitung gaya *jacking* yang dibutuhkan, terlebih dahulu dicari berkurangnya gaya pratekan pada balok. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan *running* struktur dengan gaya pratekan dasar/asli yang didapat dari persamaan 5.1 s/d 5.5.

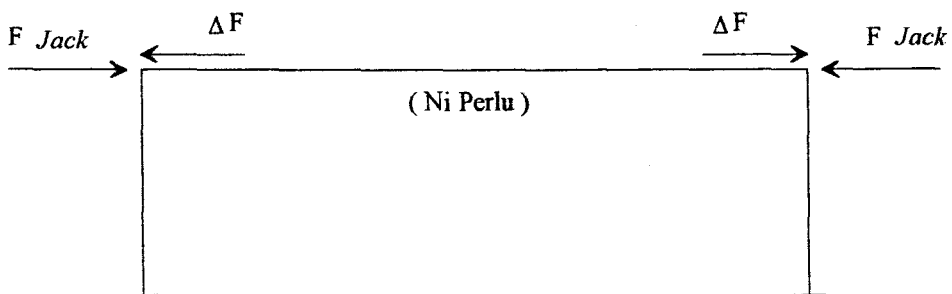


GAMBAR 5.3. GAYA PRATEGANG AWAL SEBELUM ADANYA PERLAWANAN KOLOM

dimana : N_i = Gaya aksial yang terjadi pada balok pratekan
 $= F_o - \Delta F$

Agar gaya aksial yang terjadi pada balok pratekan tetap atau hampir sama seperti yang diinginkan (F_o asli) maka gaya pratekan perlu ditambah sebesar ΔF . Jadi gaya *jacking* yang dibutuhkan:

$$F_{Jack} = F_o + \Delta F = F_o + (F_o - N_i)$$



GAMBAR 5.4. GAYA PRATEGANG SETELAH ADANYA PERLAWANAN KOLOM

Sehingga : $N_i \text{ Perlu} = F_{Jack} - \Delta F = F_o$

5.5. PERHITUNGAN KEHILANGAN GAYA PRATEGANG

Sebelum mengontrol tegangan yang terjadi, perlu dihitung kehilangan gaya pratekan. Secara umum kehilangan pratekan adalah perbedaan gaya pada waktu tertentu terhadap gaya yang diberikan saat *jacking*.

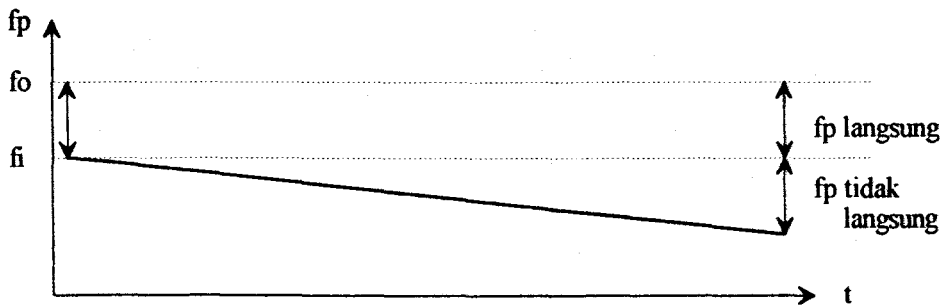
Berkurangnya gaya pratekan ini dapat berakibat berkurangnya tegangan beton dan juga tegangan bajanya sehingga secara tidak langsung kemampuan balok juga menurun.

Untuk memperkirakan besarnya kehilangan pratekan secara tepat adalah hal yang sulit karena banyaknya faktor yang berpengaruh seperti misalnya :

- ♦ Sifat dua karakter beton dan baja
- ♦ *Curing* dan kondisi kelembaban
- ♦ Prosentase tegangan pada waktu penegangannya
- ♦ Proses *pre-stressing*

Kehilangan pratekan dapat dibagi dalam dua kategori yaitu :

1. Kehilangan pratekan langsung :
 - a. Akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*)
 - b. Akibat gesekan (*friction*) dan *wobble effect*
 - c. Akibat slip pada angker (*anchorage set*)
2. Kehilangan pratekan tak langsung :
 - a. Akibat *creep*
 - b. Akibat susut (*shrinkage*)
 - c. Akibat relaksasi baja (*steel relaxation*)

GAMBAR 5.5. KEHILANGAN PRATEKAN PADA SISTEM *POST-TENSION*

5.5.1. Kehilangan Pratekan Langsung

5.5.1.1. Kehilangan akibat perpendekan elastis beton (ES)

Akibat perpendekan elastis terutama berpengaruh pada sistem *pre-tension* dan juga sistem *post-tension* dengan tendon majemuk yang di-jack tidak bersamaan. Sedangkan untuk sistem *post-tension* dengan tendon tunggal, beton memendek setelah tendon diprategang dan kemudian gaya *jacking* diukur setelah perpendekan elastis beton terjadi. Dengan demikian besar kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis tidak perlu dihitung. Tetapi perhitungan besar perpendekan elastis yang terjadi tetap dilakukan karena diperlukan untuk mencari gaya perlawanan kolom akibat perpendekan balok yang akhirnya dapat mengurangi gaya pratekan.

Besarnya perpendekan elastis dapat dihitung dengan persamaan sbb :

- ☐ Untuk C_{gs} yang konsentris

$$ES = n \cdot F_o / A_c$$

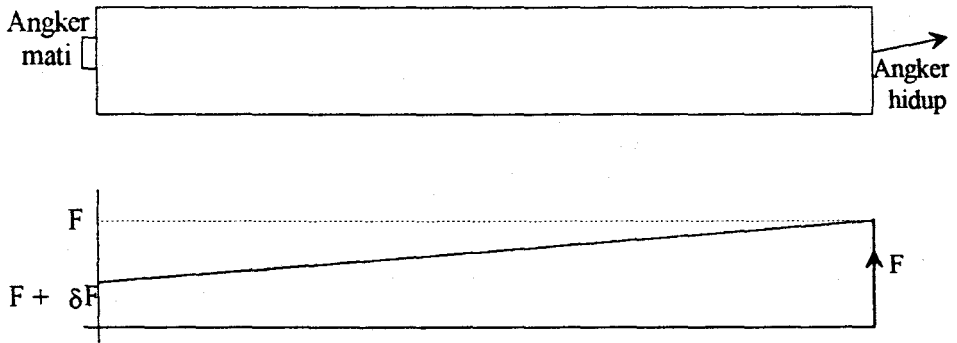
- ☐ Untuk C_{gs} yang eksentris

$$ES = n \cdot f_{cir}$$

5.5.1.2. Kehilangan akibat gesekan dan *wobble efect*

Saat mengadakan penarikan kabel, maka akibat tegangan kabel akan terjadi suatu gerakan relatif dari tendon terhadap beton. Akibat gerakan ini terjadilah suatu gesekan yang akan

menimbulkan reaksi yang arahnya berlawanan dengan gaya *jacking* sepanjang tendon. Gesekan ini terjadi karena kabel berbentuk lengkung.



GAMBAR 5.6 KEHILANGAN GAYA PRATEKAN AKIBAT GESEKAN DAN *WOBBLE EFEK*

Kehilangan pratekan akibat pengaruh ini dapat dihitung dengan persamaan sbb :

$$F_2 = F_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + K \cdot L)}$$

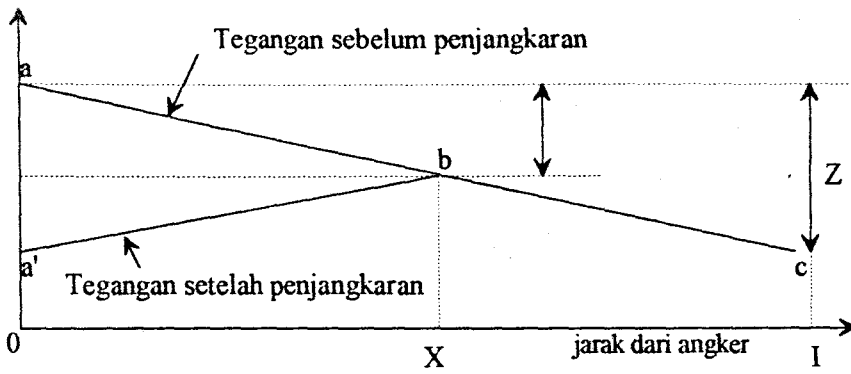
5.5.1.3. Kehilangan akibat slip anker

Kehilangan ini terjadi apabila gaya pratekan dikerjakan pada ankernya. Jadi bekerjanya dimulai saat beban *jack* dilepas dan diberikan pada balok. Penyebab utamanya bervariasi pada model masing-masing anker.

Kehilangan prategang akibat slip anker ini tidak terjadi pada sepanjang balok tetapi hanya terjadi pada daerah ujungnya (pada anker hidup) saja, kehilangan ini terjadi akibat adanya gesekan beton terhadap tendon yang menghalangi slip anker tersebut.

Yang kemudian perlu mendapat perhatian adalah seberapa jauh slip anker ini berpengaruh. Hal ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$X = \sqrt{\frac{E_p \cdot g}{\sigma_o \cdot \left(\mu \cdot \frac{\alpha}{L} + K \right)}}$$



GAMBAR 5.7. PENURUNAN TEGANGAN AKIBAT SLIP ANGKER

Metode ini pula yang biasa dipakai untuk *over tension*.

5.5.2. Kehilangan Pratekan Atas Fungsi Waktu

Kehilangan pratekan atas fungsi waktu merupakan akibat dari *creep* (CR), *shrinkage* (SH) dan *steel relaxation* (RET). Kehilangan ini diperhitungkan dengan menggunakan metode *PCI COMMITTEE*. Dalam metode ini perhitungan dibagi dalam empat interval waktu seperti yang tercantum dalam Tabel 5.1, Lampiran C.

Analisa struktur dilakukan per-teraf lantai sampai akhir pelaksanaan hingga akhir umur rencana gedung. Kontrol tegangan yang terjadi dilakukan pada setiap tahap pembebanan.

5.5.2.1. Kehilangan akibat rangkak (*creep*)

Kehilangan pratekan akibat rangkak dapat dihitung dengan persamaan sbb :

$$CR = (UCR).(SCF).(MCF).(PCR).(f_c)$$

dimana :

f_c = Tegangan tekan beton pada C_{gs} pada saat t_1

UCR (Ultimate Creep Loss) :

Untuk beton normal

a. *Curing* beton tidak lebih dari 7 hari

$$UCR = 90 - 20 E_c / 10^6 \geq 11$$

b. *Curing* yang dipercepat

$$UCR = 63 - 20 E_c / 10^6 \geq 11$$

5.5.2.2. Kehilangan akibat susut (*shrinkage / SH*)

$$SH = (USH) \cdot (SSF) \cdot (PSH)$$

dimana :

USH untuk :

- Beton normal $USH = 27000 - 3000 E_c / 10^6$

- Beton ringan $USH = 41000 - 1000 E_c / 10^6$

tetapi harga $USH > 12000$ psi

5.5.2.3. Kehilangan akibat relaksasi (*RET*)

Kehilangan pratekan akibat relaksasi baja untuk interval waktu t s/d t_1 dapat dihitung

dengan persamaan sbb :

☐ Untuk baja relaksasi tinggi (*stress-relieved steel*)

$$RET = f_{st} \cdot \left[\frac{(\log 24.t - \log 24.t_1)}{10} \right] \cdot \left[\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right]$$

dimana :

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \geq 0,05; \quad f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu}$$

☐ Untuk baja relaksasi rendah (*low-relaxation steel*)

$$RET = f_{st} \cdot \left[\frac{(\log 24.t - \log 24.t_1)}{45} \right] \cdot \left[\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right]$$

dimana :

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \geq 0,05; \quad f_{py} = 0,90 \cdot f_{pu}$$

5.6. DISAIN KEKUATAN BATAS PENAMPANG

Perhitungan kekuatan *ultimate* pada umumnya untuk menentukan kekuatan nominal dari suatu penampang, yaitu bahwa suatu penampang harus memenuhi persyaratan :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

Berkaitan dengan ketentuan untuk perencanaan gempa, kuat lentur rencana penampang beton prategang harus mempunyai nilai minimum 1,2 kali momen retaknya:

$$M_u \geq 1,2 \cdot M_{cr} \quad \text{..... (SK SNI '91, Ayat 3.11.8 butir 3)}$$

Modulus runtuh yang disyaratkan,

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f_c'} = 0,7 \cdot \sqrt{33,8} = 4,07 \text{ MPa}$$

Momen perlawanan oleh gaya prategang,

$$M_{dec} = F \cdot \left(e + \frac{r^2}{c_b} \right)$$

Momen perlawanan total pada keadaan retak,

$$M_{cr} = M_{dec} + f_r \cdot \frac{I}{c_b}$$

Kemudian untuk menjamin agar penampang berada dalam kondisi *underreinforced*, (SK SNI '91, Ayat 3.11.8 butir 1) membatasi rasio baja tulangan prategang dan baja tulangan non-prategang dengan :

$$[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')] \leq 0,36 \cdot \beta_1$$

$$\text{dimana :} \quad \beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30)$$

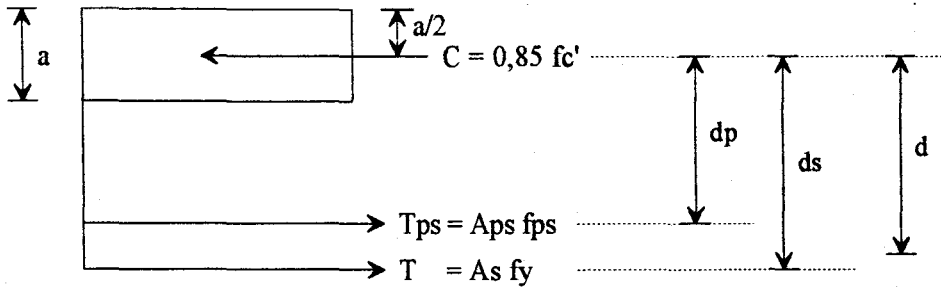
Dalam menghitung kuat lentur rencana dari tendon prategang, digunakan fps yang ditentukan seperti berikut ini :

$$\text{Untuk} \quad \left[\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \geq 0,17$$

$$fps = f_{pu} \cdot \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) \right]$$

5.6.1. Perencanaan Kekuatan Nominal Untuk Penampang Persegi

Kestimbangan gaya pada penampang beton dapat dilihat pada Gambar 5.8 sbb :



GAMBAR 5.8. KESETIMBANGAN GAYA PADA PENAMPANG

Dari diagram di atas dengan memperhatikan syarat keseimbangan :

$$C = T_{ps} + T$$

$$= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

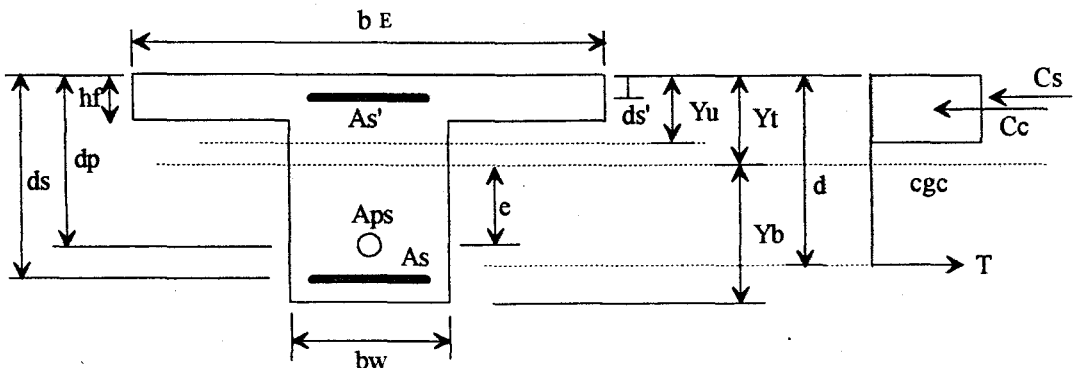
Kuat nominal lentur yang dapat dipikul oleh penampang seperti di atas dapat dinyatakan dalam persamaan sbb :

$$M_n = C \text{ atau } (T_{ps} + T) \left(d - 0,5 \cdot a \right)$$

$$= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \left(d - 0,5 \cdot a \right), \text{ atau}$$

$$M_n = (A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

5.6.2. Perencanaan Kekuatan Nominal Untuk Penampang T



GAMBAR 5.9. KESETIMBANGAN GAYA PADA PENAMPANG T

Jika $c \leq h_f$ suatu penampang dianggap sebagai penampang persegi dengan $b = bE$, jika $c > h_f$ penampang tersebut dianggap sebagai penampang T murni.

Dalam perencanaan langkah pertama adalah menentukan letak garis netral c . Untuk itu penampang T dianggap sebagai penampang persegi dimana c ditentukan dari $c = a/\beta_1$. Kemudian harga c dibandingkan dengan harga h_f .

Dari gambar di atas diperoleh :

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = 0.85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot Y_u + A_s' \cdot E_s \left(\frac{Y_u - d_s'}{Y_u} \cdot 0.003 + \epsilon_{cs}' \right)$$

Kekuatan nominalnya adalah :

$$M_n = 0.85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot Y_u \cdot bE \left(d - \frac{\beta_1 \cdot Y_u}{2} \right) + A_s' \cdot E_s \left(\frac{Y_u - d_s'}{Y_u} \cdot 0.003 \cdot \epsilon_{cs}' \right) (d - d_s')$$

Konsep index penulangan.

$$q = \omega_p + \omega + \omega' \leq 0.36 \cdot \beta_1$$

$$\text{dimana : } \omega_p = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{b \cdot d_p \cdot f_c'} = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f_c'}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_y}{b \cdot d \cdot f_c'} = \rho \cdot \frac{f_y}{f_c'}$$

$$\omega' = \frac{A_s' \cdot f_y}{b \cdot d \cdot f_c'} = \rho' \cdot \frac{f_y}{f_c'}$$

Dalam menganalisa penampang persegi dengan penulangan tarik pratekan dan non-pratekan serta penulangan tekan, dianggap bahwa tegangan tarik dan tekan tulangan non-pratekan mencapai leleh, sehingga kesetimbangan gaya dalamnya adalah :

$$0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = A_{ps} \cdot f_{ps} + f_y \cdot (A_s - A_s')$$

Jika kedua sisi kita bagi dengan $b \cdot d \cdot f_c'$, maka persamaan di atas menjadi :

$$\frac{0.85 \cdot a}{d} = q$$

sehingga :

$$a = \frac{q \cdot d}{0,85} = 1,18 \cdot q \cdot d$$

Jadi letak garis netral dapat ditentukan dari persamaan :

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,18 \cdot q \cdot d}{\beta_1}$$

Dengan mengambil nilai a dari persamaan di atas maka besarnya kuat momen nominal :

$$M_n = f_c' \cdot b^2 \cdot d \cdot q (1 - 0,59 \cdot q)$$

5.7. GESER BALOK PRATEKAN

Tulangan geser diperlukan untuk mengatasi retak pada balok pratekan. Retak pada balok pratekan ada 2 jenis yaitu :

1. Retak badan (*web crack*)
2. Retak lentur geser miring (*Inclined Flexure Shear Cracking*)

5.7.1. Retak Badan (V_{cw})

Retak ini disebabkan oleh tegangan tarik yang terjadi (f_t) lebih besar dari kekuatan tarik beton. Yang paling berpengaruh pada retak ini adalah tebal tipisnya badan, dan besar kecilnya gaya geser. Dengan demikian retak badan ini umumnya terjadi pada daerah perletakan dimana gaya gesernya besar. Besarnya kekuatan retak badan ini dapat dihitung dengan persamaan sbb :

$$V_{cw} = 0,3 \cdot (\sqrt{f_c'} + f_{pc}) \cdot b_w \cdot d + V_p \dots\dots\dots$$

..... (SK SNI '91, Ayat 3.4.4 butir 2 sub butir 1)

dimana : $f_{pc} = F_{se} / A_c$

$$V_p = 0,5 \cdot p' \cdot L \dots\dots\dots p' = 8 \cdot F \cdot h / L^2$$

5.7.2. Retak Lentur Geser Miring (V_{ci})

Retak ini biasanya diawali oleh retak lentur, kemudian berangsur-angsur terjadi retak miring. Retak ini terjadi pada keadaan tulangan *under reinforcement* dan pada umumnya terjadi

pada daerah lapangan. Besarnya kekuatan retak jenis ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada SK SNI '91, Ayat 3.4.4 butir 2 sbb :

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} \right) b_w \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}}$$

$$V_{ci} \geq \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{7} \right) b_w \cdot d$$

dimana : V_d = Gaya geser akibat berat sendiri (w_g)

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \left[\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + f_{pe} - f_d \right]$$

$$f_d = Mg / Z_b$$

$$f_{pe} = \frac{F_e \cdot (e + kt)}{Z_b}$$

V_i dan M_{max} masing-masing adalah gaya geser dan momen akibat beban maksimum.

☐ Penulangan Geser

Penulangan geser diperlukan apabila $V_n > V_c$

maka :

$$V_s = V_n - V_c = \frac{V_n}{\phi} - V_c \text{ dan}$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} \text{ atau } s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

syarat :

$$\text{- Tulangan geser minimum} = A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y}$$

$$\begin{aligned} \text{- Jarak spasi maksimum} &= s \leq 3/4 \cdot h \\ &\leq 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

5.8. CONTOH PEHITUNGAN

5.8.1. Tegangan Ijin Beton

- ♦ $\sigma_{ci} = 17,84 \text{ MPa}$
- ♦ $\sigma_{ti} = -1,36 \text{ MPa}$
- ♦ $\sigma_{cs} = 15,21 \text{ MPa}$
- ♦ $\sigma_{ts} = -2,91 \text{ MPa}$

5.8.2. Perhitungan Gaya Jacking Awal

Sebagai contoh perhitungan gaya *jacking* awal diambil balok pratekan lantai 1 (satu) BP-1. Gaya-gaya yang dicantumkan adalah hasil dari analisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP 90 Vers. 5.20.

☐ Gaya *jacking* pada tumpuan I

- ♦ $M_{\min} = -1,380\text{E}+07 \text{ kg cm}$
- ♦ $M_{\max} = -2,046\text{E}+07 \text{ kg cm}$

Dengan memasukkan parameter-parameter penampang yang telah dihitung terdahulu ke dalam persamaan 5.1 s/d 5.5, maka akan didapatkan persamaan yang merupakan daerah gaya *jacking* yang diperlukan sebagai berikut :

$$e_o \leq 13,592 + (1/F_i) (1,380\text{E}7 - (-13,6 * 9,25\text{E}4))$$

$$e_o \leq -24,883 + (1/F_i) (1,380\text{E}7 + 178,4 * 1,69\text{E}5)$$

$$e_o \geq 13,592 + (1/F) (2,046\text{E}7 - 152,1 * 9,25\text{E}4)$$

$$e_o \geq -24,883 + (1/F) (2,046\text{E}7 + (-29,1 * 1,69\text{E}5))$$

$$e_o \leq (e_{o \max}) = 31,794 - 10 = 21,794 \text{ cm}$$

Hasil dari kelima persamaan di atas dan gaya *jacking* yang memenuhi persamaan tersebut digambarkan seperti pada Gambar 5.10- A.

□ Gaya jacking pada lapangan

$$\diamond M_{\min} = 7,948E+06 \text{ kg cm}$$

$$\diamond M_{\max} = 1,182E+07 \text{ kg cm}$$

Dengan memasukkan parameter-parameter penampang yang telah dihitung terdahulu dalam persamaan 5.1 s/d 5.5, maka akan didapatkan persamaan yang merupakan daerah *jacking* yang diperlukan :

$$e_o \leq 24,883 + (1/F_i) (7,948E6 - (-13,6 * 1,69E5))$$

$$e_o \leq -13,592 + (1/F_i) (7,948E6 + 178,4 * 9,25E4)$$

$$e_o \geq 24,883 + (1/F) (1,182E7 - 152,1 * 1,69E5)$$

$$e_o \geq -13,592 + (1/F) (1,182E7 + (-29,1 * 9,25E4))$$

$$e_o \leq (e_{o \max}) = 58,206 - 15 = 43,206$$

Hasil dari kelima persamaan di atas dan gaya *jacking* yang memenuhi persamaan tersebut digambarkan pada Gambar 5.10-B.

□ Gaya Jacking pada tumpuan J

$$\diamond M_{\min} = -1,401E+07 \text{ kg cm}$$

$$\diamond M_{\max} = -2,079E+07 \text{ kg cm}$$

Dengan cara yang sama seperti pada tumpuan I, maka persamaan yang dihasilkan dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.10-C.

Dari hasil ke-tiga analisa tersebut di atas, maka didapatkan :

- ♦ Gaya *jacking* pada tumpuan I (angker hidup) adalah sebesar 200 ton.
- ♦ Gaya *jacking* pada lapangan adalah sebesar 180 ton
- ♦ Gaya *jacking* pada tumpuan J (angker mati) adalah sebesar 200 ton.

5.8.3. Perhitungan Daerah *Layout* Kabel

Sebagai contoh diambil balok pratekan lantai satu BP-1 :

$$F_i = 260 \text{ ton}$$

$$F = 208 \text{ ton (lump sum lost of prestress } \pm 20 \% \text{)}$$

$$\sigma_{gi} = F_i / A_c = 26000 / 6804 = 38,21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_g = F / A_c = 208000 / 6804 = 30,57 \text{ kg/cm}^2$$

□ Perhitungan harga k_t' dan k_b'

$$k_t' > 24,883 (1 - 152,1/30,57) > -98,92 \text{ cm}$$

$$k_t' > -13,592 (1 + 29,1/30,57) > -26,53 \text{ cm} \dots \text{ (menentukan)}$$

$$k_b' < 24,883 (1 + 13,6/38,21) < 33,74 \text{ cm} \dots \text{ (menentukan)}$$

$$k_b' < -13,592 (1 - 178,4/38,21) < 49,87 \text{ cm}$$

□ Perhitungan e_{ou} dan e_{ol}

a. Tumpuan I (angker hidup)

$$e_{ou} = -26,53 - \frac{20460000}{208000} = -124,895 \text{ cm}$$

$$e_{ol} = 33,74 - \frac{13800000}{260000} = -19,337 \text{ cm}$$

b. Lapangan

$$e_{ou} = -26,53 + \frac{11820000}{208000} = 30,297 \text{ cm}$$

$$e_{ol} = 33,74 + \frac{7948000}{260000} = 64,309 \text{ cm}$$

c. Tumpuan J (angker mati)

$$e_{ou} = -26,53 - \frac{20790000}{208000} = -126,482 \text{ cm}$$

$$e_{ol} = 33,74 - \frac{14010000}{260000} = -20,145 \text{ cm}$$

Pada perencanaan balok pratekan ini pada daerah tumpuan dipakai selimut beton 10 cm dan pada daerah lapangan dipakai selimut beton 15 cm. Jadi harga e_o pada tumpuan = 21,794 cm dan pada daerah lapangan $e_o = 43,206$ cm, dimana harga ini memenuhi persamaan diatas. Untuk harga limit kabel pada balok pratekan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.2.

5.8.4. Perhitungan Gaya *Jacking* Yang Diperlukan

Sebagai contoh diambil balok pratekan yang sama yaitu BP-1. Dari analisa struktur utama didapatkan selisih antara F awal dengan gaya normal pada balok pratekan sebesar 18,21 ton. Jadi untuk mengatasi kehilangan pratekanan akibat perlawanan kolom diperlukan *overstress* sebesar gaya perlawanan kolom tersebut.

$$\begin{aligned} F_{Jacking} &= 260000 + 18210 \\ &= 278210 \text{ kg, dipakai } F_{Jacking} = 280000 \text{ kg.} \end{aligned}$$

5.8.5. Perhitungan Kehilangan Prategangan

5.8.5.1. Kehilangan prategang langsung

$$\begin{aligned} F_o &= 280000 \text{ kg} \\ A_{ps} &= 2171 \text{ mm}^2 \\ f_{ps} &= F_o / A_{ps} = 2,8 \text{ E6} / 2171 \\ &= 1289,73 \text{ MPa} < 0,7 f_{pu} = 1303,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Karakteristik untuk 7 wire strands yang direncanakan :

$$\begin{aligned} \mu &= 0,2 / \text{radial} \\ K &= 0,0016 / \text{m} \\ slip (g) &= 0,1 \text{ cm} \\ f &= 65 \text{ cm} \\ \alpha &= \frac{8 \cdot f}{l} = \frac{8 \cdot 65}{1600} = 0,325 \text{ radial} \\ \sigma_o &= 0,8 \cdot f_{pu} = 0,8 \cdot 1862 = 1489,6 \text{ MPa} = 14896 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$E_p = 1,96E6 \text{ kg/cm}^2$$

□ Akibat slip angker

Jarak slip angker yang diperhitungkan, x

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{\frac{E_p \cdot g}{\sigma_o \left(\frac{\mu \cdot \alpha}{l} + k \right)}} \\ &= \sqrt{\frac{1,96E6 \cdot 0,1 \cdot 100}{14896 \left(\frac{0,2 \cdot 0,325}{16} + 0,0016 \right)}} \\ &= 482,05 \text{ cm} = 4,82 \text{ m} \\ \Delta \sigma &= 2 \cdot \sigma_o \left(\mu \cdot \frac{\alpha}{l} + k \right) \cdot x \\ &= 2 \cdot 14896 \left(0,2 \cdot \frac{0,325}{16} + 0,0016 \right) \cdot 4,82 \\ &= 813,12 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta F &= A_{ps} \cdot \Delta \sigma = 21,71 \cdot 813,12 \\ &= 17652,84 \text{ kg} \end{aligned}$$

□ Akibat gesekan dan Efek *Wobble*

$$\begin{aligned} F_1 &= F_o \cdot e^{-(\mu \cdot 0,5 \cdot \alpha + k \cdot 0,5 \cdot L)} \\ &= 280000 \cdot e^{-(0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,325 + 0,0016 \cdot 0,5 \cdot 16)} \\ &= 267599 \text{ kg} \\ \Delta F &= 280000 - 267599 = 12401 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sisa gaya prategang akibat slip angker dan *wobble effect* adalah :

$$\begin{aligned} F_1 &= 280000 - 17652,84 - 12401 \\ &= 249946 \text{ kg} \end{aligned}$$

5.8.5.2. Perhitungan kehilangan prategangan tak langsung

Diambil balok pratekan BP-1 sebagai contoh,

$$b = 50 \text{ cm}, \quad t = 12 \text{ cm}, \quad A_{ps} = 21,71 \text{ cm}^2 \text{ (VSL grade 270 K)}$$

$$h = 90 \text{ cm}, \quad A_c = 6804 \text{ cm}^2, \quad bE = 242 \text{ cm}$$

$$V/S = \frac{6804 L}{664 L} = 10,25 \text{ cm} = 4,04 \text{ in}$$

$$\text{untuk } V/S = 4,04 \text{ in}, \quad SCF = 0,77 : SSF = 0,77$$

$$E_c = 27325 \text{ MPa} = 3891618 \text{ psi}$$

$$UCR = 95 - 20.E_c/10^6$$

$$= 95 - 20 \cdot 3891618/10^6 = 17,17 \text{ psi} > 11 \text{ Ok}$$

$$USH = 27000 - 3000.E_c/10^6$$

$$= 27000 - 3000 \cdot 3891618/10^6 = 15325 \text{ psi} > 12000 \text{ psi Ok}$$

$$\text{maka : } (UCR)(SCF) = 17,17 \cdot 0,77 = 13,221 \text{ ksi/ksi} = 13,221 \text{ MPa/MPa}$$

$$(USH)(SSF) = 15,325 \cdot 0,77 = 11,800 \text{ ksi} = 81,379 \text{ MPa}$$

☐ Tahap I

Mulai dari akhir curing atau awal pratekanan sampai dengan dua hari setelah pratekanan.

♦ Relaksasi

$$t_1 = 1/24 \quad t_2 = 2$$

Digunakan tendon prategang tipe VSL grade 270 K ($f_{pu} = 1862 \text{ MPa}$)

Sebagai contoh perhitungan dipakai BP-1 dengan $F_{Jacking} = 249946 \text{ kg}$

$$fst = F_o/A_{ps} = 1151,29 \text{ MPa}$$

$$fst/f_{py} = \frac{1151,29}{0,9 \cdot 1862} = 0,687$$

$$RET_1 = fst \cdot \left[\frac{\log 24.t_2 - \log 24.t_1}{45} \right] \cdot (fst / f_{py} - 0,55)$$

$$= 1151,29 * \left[\frac{\log 48 - \log 1}{45} \right] * (0,687 - 0,55) = 5,893 \text{ MPa}$$

- ♦ Kehilangan prategangan akibat susut dan rangkai relatif kecil untuk waktu yang pendek.

$$SH_1 = CR_1 = 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow fst_1 &= fst - (RET_1 + SH_1 + CR_1) = 1151,29 - (5,893 + 0 + 0) \\ &= 1145,40 \text{ MPa} \end{aligned}$$

□ Tahap II

Mulai akhir tahap 1 s/d 14 hari, saat *jacking* lantai 2

- ♦ *Relaksasi*

$$t_1 = 2 \quad t_2 = 14 \quad fst_1 = 1145,40 \text{ MPa}$$

$$fst_1 / f_{py} = \frac{1145,40}{0,9 * 1862} = 0,683$$

$$\begin{aligned} RET_2 &= 1145,40 * \left[\frac{\log 24 \times 14 - \log 24 \times 2}{45} \right] * (0,683 - 0,55) \\ &= 2,861 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- ♦ *Creep*

$$t_2 = 14 \text{ hari} \quad PCR = AUC(14) - AUC(2) = 0,264 - 0,15 = 0,114$$

$$MCF = 0,912$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{N}{A_c} \\ &= \frac{2499460}{680400} = 3,674 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_2 &= (UCR)(SCF)(PCR)(MCF).f_c \\ &= 13,221 * 0,114 * 0,912 * 3,674 = 5,05 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- ♦ *Shrinkage*

$$t_2 = 14 \text{ hari} \quad PSH = AUS(14) - AUS(2) = 0,302 - 0,115 = 0,187$$

$$\begin{aligned}
 SH_2 &= (USH).(SSF).(PSH) \\
 &= 81,379 * 0,187 = 15,218 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow fst_2 &= fst_1 - (RET_2 + CR_2 + SH_2) \\
 &= 1145,40 - (2,861 + 5,05 + 15,218) \\
 &= 1122,27 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

□ Tahap III

a. Pada saat ini waktu yang diperhitungkan adalah

♦ *Relaksasi*

$$t_1 = 14 \quad t_2 = 45 \quad fst_2 = 1122,27 \text{ MPa}$$

$$fst_2 / fpy = \frac{1122,27}{0,9 * 1862} = 0,670$$

$$\begin{aligned}
 RET_{3a} &= 1122,27 * \left[\frac{\log 24.45 - \log 24.14}{45} \right] * (0,670 - 0,55) \\
 &= 1,518 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 14 \text{ hari} \quad AUC = 0,264$$

$$t_2 = 45 \text{ hari} \quad AUC = 0,40 \quad PCR = 0,40 - 0,264 = 0,136$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned}
 fc &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{fst_2}{fst_1} \\
 &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1122,27}{1145,40} = 3,60 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CR_{3a} &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).fc \\
 &= 13,221 * 0,136 * 0,6 * 3,60 = 3,884 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

♦ *Shrinkage*

$$t_1 = 14 \quad AUS = 0,302$$

$$t_2 = 45 \quad AUS = 0,485 \quad PSH = 0,485 - 0,302 = 0,183$$

$$\begin{aligned} SH_{3a} &= (USH).(SSF).(PSH) \\ &= 81,379 * 0,183 = 14,892 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright f_{st_{3a}} &= f_{st_2} - (RET_{3a} + CR_{3a} + SH_{3a}) \\ &= 1122,27 - (1,518 + 3,884 + 14,892) = 1101,98 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Pada saat ini waktu yang diperhitungkan adalah

$$t_1 = 45 \quad t_2 = 90 \quad f_{st_{3a}} = 1101,98 \text{ MPa}$$

♦ *Relaksasi*

$$f_{st_{3a}} / f_{py} = \frac{1101,98}{0,9 * 1862} = 0,658$$

$$\begin{aligned} RET_{3b} &= 1101,98 * \left[\frac{\log 24.90 - \log 24.45}{45} \right] * (0,658 - 0,55) \\ &= 0,796 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 45 \quad AUC = 0,40$$

$$t_2 = 90 \quad AUC = 0,51 \quad PCR = 0,51 - 0,40 = 0,11$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{f_{st_{3a}}}{f_{st_2}} \\ &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1101,98}{1122,27} = 3,607 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_{3b} &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).f_c \\ &= 13,221 * 0,11 * 0,6 * 3,607 = 3,147 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Shrinkage*

$$t_1 = 45 \quad AUS = 0,485$$

$$t_2 = 90 \quad AUS = 0,62 \quad PSH = 0,62 - 0,485 = 0,135$$

$$\begin{aligned} SH_{3b} &= (USH).(SSF).(PSH) \\ &= 81,379 * 0,135 = 10,986 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow fst_{3b} &= fst_{3a} - (RET_{3b} + CR_{3b} + SH_{3b}) \\ &= 1101,98 - (0,796 + 3,147 + 10,986) = 1087,05 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Pada saat ini waktu yang diperhitungkan adalah

$$t_1 = 90 \quad t_2 = 365 \quad fst_{3b} = 1087,05 \text{ MPa}$$

♦ *Relaksasi*

$$fst_{3b}/fpy = \frac{1087,05}{0,9 \cdot 1862} = 0,649$$

$$\begin{aligned} RET_{3c} &= 1087,05 * \left[\frac{\log 24.365 - \log 24.90}{45} \right] * (0,649 - 0,55) \\ &= 1,454 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 90 \quad AUC = 0,51$$

$$t_2 = 365 \quad AUC = 0,74 \quad PCR = 0,74 - 0,51 = 0,23$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned} fc &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{fst_{3b}}{fst_{3a}} \\ &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1087,05}{1101,98} = 3,624 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_{3c} &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).fc \\ &= 13,221 * 0,23 * 0,6 * 3,624 \\ &= 6,612 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Shrinkage*

$$t_1 = 90 \quad AUS = 0,62$$

$$t_2 = 365 \quad AUS = 0,86 \quad PSH = 0,86 - 0,62 = 0,24$$

$$\begin{aligned} SH_{3c} &= (USH).(SSF).(PSH) \\ &= 81,379 \cdot 0,24 = 19,531 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow fst_{3c} &= fst_{3b} - (RET_{3c} + CR_{3c} + SH_{3c}) \\ &= 1087,05 - (1,454 + 6,612 + 19,531) = 1059,45 \text{ MPa} \end{aligned}$$

□ Tahap IV

$$t_1 = 365 \text{ hari} \quad t_2 = 40 \text{ tahun} \quad fst_{3c} = 1059,45 \text{ MPa}$$

♦ *Relaksasi*

$$fst_{3c} / f_{py} = \frac{1059,45}{0,9 \cdot 1862} = 0,632$$

$$\begin{aligned} RET_4 &= 1059,45 \cdot \left[\frac{\log 24.365.40 - \log 24.365}{45} \right] \cdot (0,632 - 0,55) \\ &= 3,093 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 365 \text{ hari} \quad AUC = 0,74$$

$$t_2 = 40 \text{ th} \quad AUC = 1 \quad PCR = 1 - 0,74 = 0,26$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned} fc &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{fst_{3c}}{fst_{3b}} \\ &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1059,45}{1087,05} = 3,580 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_4 &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).fc \\ &= 13,221 \cdot 0,26 \cdot 0,6 \cdot 3,580 = 7,384 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Shrinkage*

$$t_1 = 365 \text{ hari} \quad AUS = 0,860$$

$$t_2 = 40 \text{ th} \quad AUS = 1 \quad PSH = 1 - 0,86 = 0,14$$

$$\begin{aligned} SH_4 &= (USH).(SSF).(PSH) \\ &= 81,379 * 0,14 = 11,393 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright \text{fst}_4 &= \text{fst}_{3c} - (RET_4 + CR_4 + SH_4) \\ &= 1059,45 - (3,093 + 7,384 + 11,393) \\ &= 1037,58 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Sisa gaya prategang pada akhir tahap 4 (masa layan) adalah :

$$\begin{aligned} F_2 &= \text{fst}_4 \cdot Aps \\ &= 1037,58 \cdot 2171 = 2252586,18 \text{ N} \\ &= 225259 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ini berarti bahwa kehilangan gaya prategang total hingga akhir masa layan adalah :

$$\begin{aligned} &= 100 \% - \frac{F_2}{F_0} \cdot 100 \% \\ &= 100 \% - \frac{225259}{280000} \cdot 100 \% \\ &= 19,55 \% \end{aligned}$$

Sehingga gaya prategang yang diperlukan akibat kehilangan total :

$$\begin{aligned} F_{\text{akhir}} &= 280000 + (280000 - 225259) \\ &= 334741 \text{ kg} \end{aligned}$$

5.8.5.3. Kontrol tegangan yang terjadi

♦ Pada saat pratekanan awal (F_0)

$$f_t = \frac{F_0}{Ac} - \frac{F_0 \cdot e \cdot c_t}{I} + \frac{Mg \cdot c_t}{I}$$

$$= \frac{3,35E6}{680400} - \frac{3,35E6 * 432,06 * 317,94}{5,38E10} + \frac{4,465E8 * 317,94}{5,38E10}$$

$$= -0,99 \text{ MPa (tarik)} < -1,36 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{F_o}{A_c} + \frac{F_o \cdot e \cdot c_b}{I} - \frac{M_g \cdot c_b}{I} \\ &= \frac{3,35E6}{680400} + \frac{3,35E6 * 432,06 * 582,06}{5,38E10} - \frac{4,465E8 * 582,06}{5,38E10} \\ &= 15,75 \text{ MPa} < 17,84 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Ok} \end{aligned}$$

- ♦ Pada saat setelah kehilangan prategangan (Fe)

$$\begin{aligned} f_t &= \frac{F_e}{A_c} - \frac{F_e \cdot e \cdot c_t}{I} + \frac{M_t \cdot c_t}{I} \\ &= \frac{2,8E6}{680400} - \frac{2,8E6 * 432,06 * 317,94}{5,38E10} + \frac{1,182E9 * 317,94}{5,38E10} \\ &= 3,95 \text{ MPa} < 15,21 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Ok} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \cdot e \cdot c_b}{I} - \frac{M_t \cdot c_b}{I} \\ &= \frac{2,8E6}{680400} + \frac{2,8E6 * 432,06 * 582,06}{5,38E10} - \frac{1,182E9 * 582,06}{5,38E10} \\ &= 4,42 \text{ MPa} < -2,91 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Ok} \end{aligned}$$

5.8.6. Penulangan Lunak Balok Pratekan

Karakteristik penampang BP-1 sebagai contoh perhitungan tulangan lunak dalam hal ini adalah sbb:

b	= 50 cm	A _{ps}	= 2171 mm ²
h	= 90 cm	f _{c'}	= 33,8 MPa
d'	= 5 cm	f _y	= 320 MPa
d	= 85 cm		

Berdasarkan analisa tegangan yang dilakukan didapatkan bahwa tegangan yang terjadi pada balok pratekan lebih kecil dari tegangan yang diijinkan. Secara teoritis dapat dikatakan

bahwa balok pratekan yang direncanakan tidak memerlukan tulangan lunak. Tetapi untuk pertimbangan praktis tetap dipasang tulangan lunak pada balok pratekan dengan rasio tulangan minimum.

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{1,4}{320} \cdot 500 \cdot 850 \\ &= 1859,375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan atas dipasang : 4 D.25 ($A_s = 1964 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah dipasang : 4 D.25 ($A_s = 1964 \text{ mm}^2$)

5.8.7. Kontrol Kekuatan Batas Balok Pratekan

Degan contoh balok pratekan yang sama (BP-1) :

$$A_c = 6804 \text{ cm}^2$$

$$f_c' = 33,8 \text{ MPa}$$

$$A_{ps} = 2171 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) = 0,85 - 0,008 (33,8 - 30) \\ &= 0,82 > 0,65 \dots\dots\dots \text{Ok} \end{aligned}$$

$$f_{py} / f_{pu} = 0,9 \cdot f_{pu} / f_{pu} = 0,9 \dots\dots\dots \gamma_p = 0,28$$

$$\begin{aligned} M_{dec} &= F (e + r^2/c_b) = F (e + kt) \\ &= 2,25\text{E}6 (0,432 + 0,136) \\ &= 1278 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= M_{dec} + f_r \cdot I/c_b \\ &= 1278 + 4,07 \cdot 0,0538/0,582 \\ &= 1278,38 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$1,2 \cdot M_{cr} = 1,2 \cdot 1278,38 = 1534,06 \text{ KNm}$$

$$A_s = A_s' = 2171 \text{ mm}^2$$

$$d_s' = 5 \text{ cm} \quad d_s = 85 \quad d_p = (900 - 150) = 750 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_E \cdot d} = \frac{1964}{2420 \cdot 850} = 0,000955 = \rho'$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b_E \cdot d_p} = \frac{2171}{2420 \cdot 750} = 0,00120$$

$$\begin{aligned} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\varpi - \varpi') \right] &= \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} \cdot \frac{f_y}{f_c'} (\rho - \rho') \right] \\ &= \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c'} = 0,00120 \cdot \frac{1862}{33,8} \\ &= 0,066 < 0,17 \dots \text{(menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga, } f_{ps} &= f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\varpi - \varpi') \right] \right] \\ &= 1862 \left[1 - \frac{0,28}{0,82} \cdot 0,17 \right] = 1753,913 \text{ MPa} \end{aligned}$$

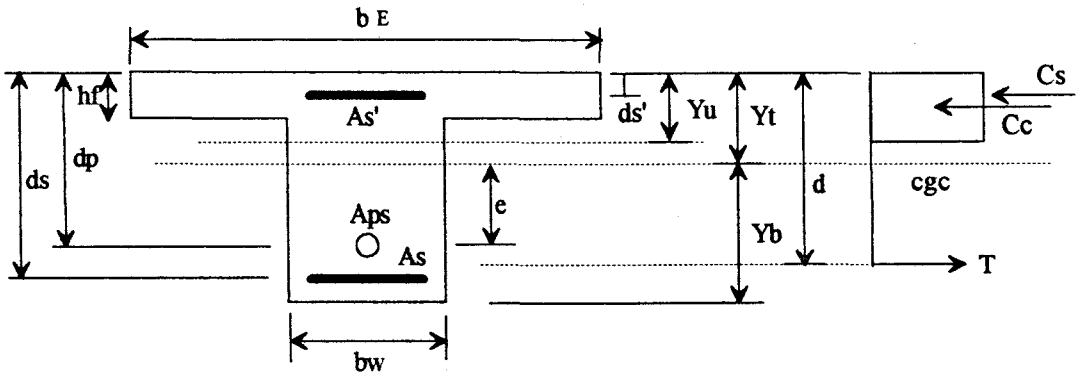
Periksa index tulangan global :

$$\omega_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f_c'} = 0,00120 \cdot \frac{1753,913}{33,8} = 0,062$$

$$\omega = \omega' = \rho \cdot \frac{f_y}{f_c'} = 0,000955 \cdot \frac{320}{33,8} = 0,00904$$

$$\left[\omega_p + \frac{d}{d_p} (\varpi - \varpi') \right] = [0,062 + 0] = 0,062 < 0,36 \beta_1 = 0,2952$$

☐ Kondisi penampang bertulangan lemah



Dengan anggapan balok berperilaku sebagai penampang persegi selebar bE , maka gaya-gaya dalam memberikan :

$$A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y = 0,85.f_c'.\beta_1.Y_u.bE + A_s'.E_s.\left[\frac{Y_u - d_s'}{Y_u}.0,003 + \epsilon_{cs}'\right]$$

dimana :

$$\begin{aligned}\varepsilon_{cs}' &= \frac{F}{Ec} \left[\frac{1}{Ac} - \frac{e}{I} (C_t - ds') \right] \\ &= \frac{2,25E6}{27325} * \left[\frac{1}{680400} - \frac{432,06}{5,38E10} (317,94 - 50) \right] \\ &= -0,0000562\end{aligned}$$

sehingga :

$$\text{Aps.fps} + \text{As.fy} = 2171 * 1753,913 + 1964 * 320$$

$$= 4436225,123 \text{ N}$$

$$= 0,85.f_c'.\beta_1.Y_u.bE + A_s'.E_s. \left[\frac{Y_u - d_s'}{Y_u} \cdot 0,003 + \epsilon_{cs} \right]$$

$$= 0,85 \cdot 33,8 \cdot 0,82 \cdot Y_u \cdot 2420 + 1964 \cdot 200000 \cdot \left[\frac{Y_u - 50}{Y_u} \cdot 0,003 - 0,0000562 \right]$$

$$4436225,123 = 57011,81 \cdot Y_u + 1,1784E6 - 5,892E7/Y_u - 22075,36$$

$$= 57011,81 * Y_u^2 - 3,28E6 * Y_u - 5,892E7 = 0$$

$$Y_u = 71,90 \text{ mm}$$

$$0,82 \cdot Y_u = 0,82 \cdot 71,90 = 58,958 \text{ mm} < h_f = 120 \text{ mm}$$

□ Balok berperilaku sebagai penampang persegi.

Tinggi efektif penampang adalah :

$$\begin{aligned} d &= \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d_s}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} \\ &= \frac{2171 \cdot 1753,913 \cdot 750 + 1964 \cdot 320 \cdot 850}{2171 \cdot 1753,913 + 1964 \cdot 320} = 764,17 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal penampang ditengah bentang

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot Y_u \cdot bE \left[d - \frac{\beta_1 \cdot Y_u}{2} \right] + \\ &\quad A_s' \cdot E_s \left[\frac{Y_u - d_s'}{Y_u} \cdot 0,003 + \epsilon_{cs'} \right] \cdot (d - d_s') \\ &= 0,85 \cdot 33,8 \cdot 0,82 \cdot 71,90 \cdot 2420 \cdot \left[850 - \frac{58,958}{2} \right] + \\ &\quad 1964 \cdot 200000 \cdot \left[\frac{71,90 - 50}{71,90} \cdot 0,003 - 0,0000562 \right] \cdot (850 - 50) \\ &= 3363438069 + 269482521,4 \\ &= 3632920590 = 3,633E9 \text{ Nmm} \\ M_u &= \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 3,633E9 \\ &= 2906,4 \text{ kN-m} > 1,2 M_{cr} \dots\dots\dots \text{ Ok} \end{aligned}$$

5.8.8. Geser Balok Pratekan

$$F_e = 2,25E6 \text{ N}$$

$$b_w = 500 \text{ mm}$$

$$d = 850 \text{ mm}$$

$$A_c = 680400 \text{ mm}^2$$

□ Kekuatan geser beton

Pada jarak x (dari muka tumpuan) = $0,5 \cdot h = 45 \text{ cm}$

$$V_n = 6,967E5/0,6$$

$$= 1,163E6 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,3 \cdot \left(\sqrt{f_c'} + f_{pc} \right) \cdot b_w \cdot d + V_p$$

$$f_{pc} = \frac{2,25E6}{680400} = 3,31 \text{ MPa}$$

$$V_p = \frac{0,5 \cdot 8 \cdot 2,25E6 \cdot 650}{16000} = 365625 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,30 \cdot \left(\sqrt{33,8} + 3,31 \right) \cdot 500 \cdot 850 + 365625$$

$$= 1528906,534 \text{ N} > V_n = 1,163E6 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 2,08E9 \text{ N-mm} = 2080 \text{ kN-m}$$

$$M_{cr} = Z_b \cdot \left(\sqrt{\frac{f_c'}{2}} + f_{pc} \right)$$

$$\begin{aligned} f_{pc} &= \frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \cdot e}{Z_b} \\ &= \frac{2,25E6}{680400} + \frac{2,25E6 \cdot 432,06}{9,25E7} = 13,816 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$M_{cr} = 9,25E7 \cdot \left(\sqrt{\frac{33,8}{2}} + 13,816 \right)$$

$$= 1,658E9 \text{ Nmm} = 1658 \text{ kN-m}$$

$$V_{ci} = \left(\frac{1}{20} \sqrt{f_c'} \right) \cdot b \cdot d + \left(\frac{V_i}{M_{\max}} \right) \cdot M_{cr}$$

$$= \left(\frac{1}{20} \sqrt{33,8} \right) \cdot 500 \cdot 850 + \frac{1,074E5}{2,08E9} \cdot 1,658E9$$

$$= 123542,756 + 85610,19$$

$$= 209152,89 > 1,074E5 \text{ N}$$

Dari analisa diatas didapat bahwa gaya geser yang terjadi pada balok pratekan lebih kecil dari kemampuan balok dalam memikul gaya geser. Untuk selanjutnya tulangan geser dipasang praktis, yaitu D12 - 300 mm.

$$C_t = \frac{0,2163}{0,6804} = 0,31794 \text{ m}$$

$$C_b = 0,900 - 0,31794 = 0,58206 \text{ m}$$

$$0,2904 \cdot (0,12^2 / 12 + 0,258^2) = 0,0196787 \text{ m}^4$$

$$0,3900 \cdot (0,78^2 / 12 + 0,192^2) = 0,0341590 \text{ m}^4$$

$$I = 0,0538377 \text{ m}^4$$

$$r^2 = \frac{0,0538377}{0,6804} = 0,0791265 \text{ m}^2$$

$$k_t = \frac{0,0791265}{0,58206} = 0,13594 \text{ m} : Z_b = \frac{0,0538377}{0,58206} = 0,092495 \text{ m}^3$$

$$k_b = \frac{0,0791265}{0,31794} = 0,24887 \text{ m} : Z_t = \frac{0,0538377}{0,31794} = 0,169332 \text{ m}^3$$

5.3. PENENTUAN GAYA PRATEKAN/PRATEGANG DAN LETAK KABEL

5.3.1. Penentuan Gaya Pratekan Awal

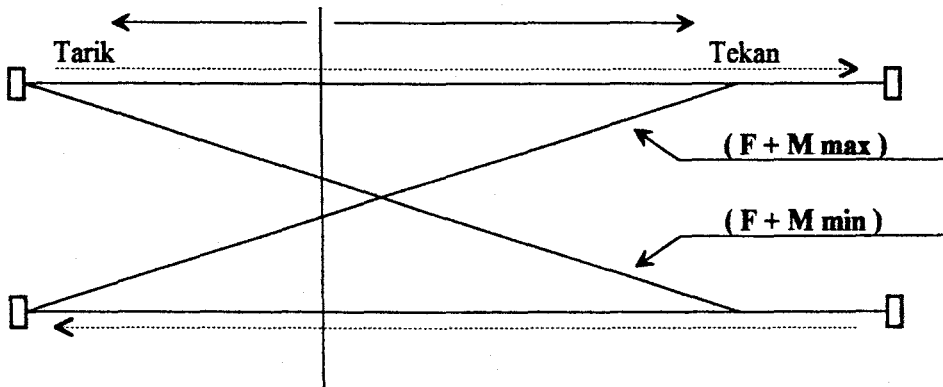
Dalam perencanaan balok pratekan, peninjauan pembebanan tidak cukup hanya melihat besar beban luar baik yang berupa beban mati maupun beban hidup yang bekerja saja, tetapi perlu diperhatikan juga kombinasi antara beban luar dan gaya pratekan yang diterima beton. Keadaan balok pratekan yang paling kritis pada umumnya terjadi pada dua kondisi pembebanan, yaitu pembebanan awal (*initial loading*) dan pembebanan akhir (*final loading*).

Yang dimaksud dengan kondisi pembebanan awal adalah kondisi pembebanan pada saat gaya pratekan ditransfer pada beton. Beban yang bekerja hanya berupa beban mati saja karena beban hidup belum bekerja yang akan memberikan momen minimum (M_{\min}). Pada saat ini gaya pratekan adalah maksimum dan kekuatan beton adalah minimum karena kekuatan beton belum penuh.

Yang dimaksud dengan kondisi pembebanan akhir adalah kondisi dimana beban luar yaitu beban mati dan beban hidup sudah sepenuhnya bekerja dan kehilangan pratekan sudah terjadi.

Pada saat ini beban luar adalah maksimum yaitu yang memberikan momen maksimum (M_{\max}) dan gaya pratekan adalah minimum.

Kedua kondisi pembebanan tersebut dapat dinyatakan seperti Gambar 5.1. pada halaman berikut.



GAMBAR 5.1. DIAGRAM TEGANGAN DIBAWAH KONDISI EKSTRIM

Tegangan yang terjadi pada masing-masing keadaan tersebut tidak boleh melebihi ketentuan tegangan yang diijinkan seperti tersebut di atas yaitu :

- ♦ Untuk tegangan tarik, tegangan yang terjadi \leq tegangan tarik ijin.
- ♦ Untuk tegangan tekan, tegangan yang terjadi \leq tegangan tekan ijin.

Untuk mendapatkan harga besarnya gaya pratekan yang diperlukan, dilakukan dahulu analisa struktur tanpa adanya gaya pratekan untuk mengetahui besar M_{\min} dan M_{\max} .

Besarnya gaya pratekan dan eksentrisitas yang diberikan adalah sedemikian rupa sehingga baik pada kondisi pembebanan awal maupun kondisi pembebanan akhir, tegangan yang terjadi tidak melanggar ketentuan tegangan ijin. Karena masing-masing kondisi tersebut di atas mempunyai dua syarat batas yaitu tegangan tarik maksimum dan tegangan tekan maksimum maka

besarnya gaya pratekan awal dan eksentrisitasnya harus memenuhi lima persamaan sebagai berikut :

☐ Syarat kondisi pada saat *jacking* (*inisial*)

$$- e_o \leq k_b + \left(\frac{1}{F_i} \right) (M_{\min} - \sigma_{ti} \cdot Z_t) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$- e_o \leq k_t + \left(\frac{1}{F_i} \right) (M_{\min} - \sigma_{ci} \cdot Z_b) \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

☐ Syarat kondisi pada saat beban hidup bekerja

$$- e_o \leq k_b + \left(\frac{1}{F} \right) (M_{\max} - \sigma_{cs} \cdot Z_t) \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

$$- e_o \leq k_t + \left(\frac{1}{F} \right) (M_{\max} + \sigma_{ts} \cdot Z_b) \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

☐ Syarat eksentrisitas penampang maximum

$$- e_o \leq (e_o)_{\max} = C_b - d_c \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

Dengan menggambarkan hubungan antara e_o dan $1/F_i$ dari persamaan tersebut, maka akan diperoleh besarnya gaya *jacking* yang dibutuhkan pada daerah tersebut. Persamaan 5.1 s/d 5.5 adalah untuk momen positif. Sedangkan untuk momen negatif tetap memakai persamaan 5.1 s/d 5.5 tetapi dengan membalik letak kern atas dan kern bawahnya dan mengubah tanda momen dari negatif menjadi positif.

5.3.2. Penentuan Letak Kabel (*Cable Lay Out*)

Penentuan besarnya gaya pratekan dan eksentrisitas yang diperlukan hanya didasarkan pada beberapa potongan kritis, yaitu pada tumpuan kiri, tengah bentang dan tumpuan kanan. Sehingga untuk titik-titik lain sepanjang bentang perlu ditentukan daerah limit kabel berdasarkan gaya yang bekerja sedemikian sehingga tegangan ijin tidak dilampaui.

Tegangan yang bekerja pada titik berat beton akibat gaya pratekan awal dan gaya pratekan efektif adalah :

$$\sigma_{gi} = \frac{F_i}{A_c}, \text{ sehingga } F_i = \sigma_{gi} \cdot A_c$$

$$\sigma_g = \frac{F_e}{A_c} = \frac{\eta \cdot F_i}{A_c}, \text{ sehingga } \eta \cdot F_i = \sigma_g \cdot A_c$$

Persamaan 5.1 s/d 5.4 dapat dinyatakan dalam harga σ_{gi} dan σ_g sbb:

$$- e_o - \frac{M_{min}}{F_i} \leq k_b \left(1 - \frac{\sigma_{ti}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.6)$$

$$- e_o - \frac{M_{min}}{F_i} \leq k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.7)$$

$$- e_o - \frac{M_{max}}{F} \geq k_b \left(1 - \frac{\sigma_{cs}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.8)$$

$$- e_o - \frac{M_{max}}{F} \geq k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ts}}{\sigma_{gi}} \right) \quad (5.9)$$

Persamaan sebelah kanan menunjukkan besarnya eksentrisitas gaya C dari beton untuk kedua kondisi beban yang ekstrim. Sehingga persamaan 5.6 s/d 5.9 menggambarkan limit atas dan limit bawah dari tendon. Dengan daerah limit kern atas (k_t') dan kern bawah (k_b') diambil berdasarkan :

☐ Harga k_t' diambil yang terbesar dari :

$$\diamond k_b \left(1 - \frac{\sigma_{cs}}{\sigma_g} \right)$$

$$\diamond k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ts}}{\sigma_g} \right)$$

☐ Harga k_b' diambil yang terkecil dari :

$$\diamond k_b \left(1 - \frac{\sigma_{ti}}{\sigma_{gi}} \right)$$

$$\diamond k_t \left(1 - \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{gi}} \right)$$

Sehingga dari dua kondisi beban ekstrim didapat :

$$e_o - \frac{M_{maz}}{F} \geq k_t'$$

$$e_o - \frac{M_{\min}}{F_i} \leq k_b'$$

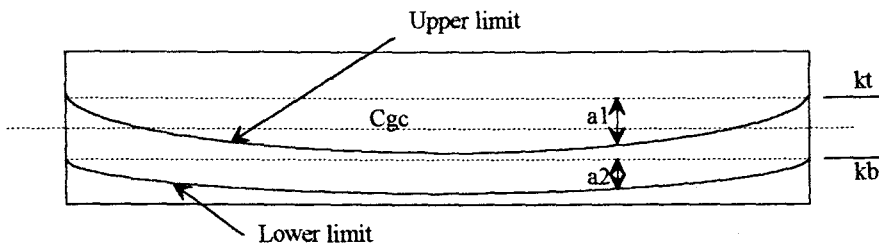
Maka penempatan tendon harus berada sesuai dengan persamaan :

$$k_t' + \frac{M_{\max}}{F} \leq e_o \leq k_b' + \frac{M_{\min}}{F_i} \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

Dimana : $k_t' + \frac{M_{\max}}{F} = e_o U = \text{Limit atas}$

$$k_b' + \frac{M_{\min}}{F_i} = e_o L = \text{Limit bawah}$$

Daerah limit kabel secara umum dapat ditunjukkan seperti pada gambar berikut :



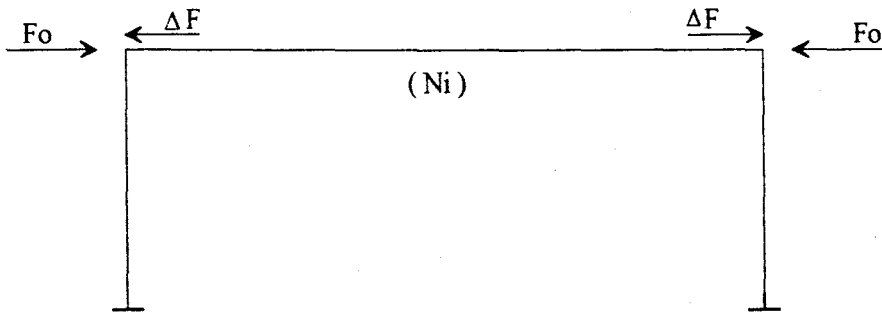
GAMBAR 5.2. DAERAH LIMIT KABEL PADA BALOK PRATEKAN

5.4. PERHITUNGAN GAYA PRATEGANG YANG DIBUTUHKAN

Permasalahan yang ada pada portal balok pratekan dengan adanya hubungan monolit antara balok dan kolom adalah timbulnya gaya perlawanan kolom akibat memendeknya balok pratekan. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan gaya pratekan yang diberikan menjadi berkurang karena sebagian pratekanan dipergunakan untuk mengatasi gaya perlawanan kolom.

Memendeknya balok pratekan tersebut disebabkan oleh perpendekan elastis (*elastic shortening*) dan akibat *creep* serta susut. Dimana perpendekan elastis terjadi sesaat setelah balok pratekan di-*jacking*, sedangkan *creep* serta susut terjadi sesuai dengan fungsi waktu. Kehilangan pratekan langsung pada balok yang sedang di-*jack* dapat diatasi dengan menambah gaya *jacking*-nya. Sedangkan untuk kehilangan tak langsung balok yang telah di-*jack* harus diperhitungkan sebagai pengurangan gaya pratekan.

Untuk menghitung gaya *jacking* yang dibutuhkan, terlebih dahulu dicari berkurangnya gaya pratekan pada balok. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan *running* struktur dengan gaya pratekan dasar/asli yang didapat dari persamaan 5.1 s/d 5.5.

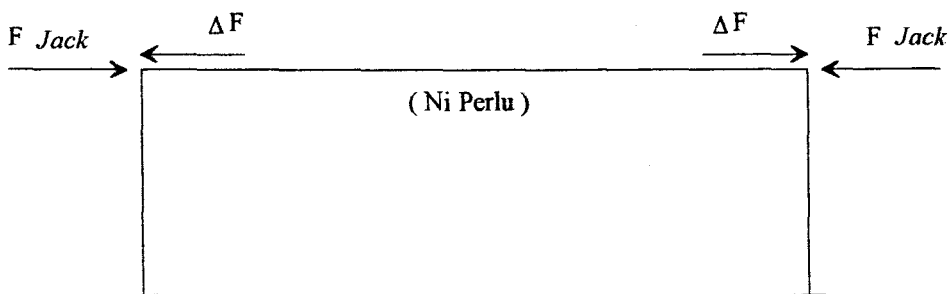


GAMBAR 5.3. GAYA PRATEGANG AWAL SEBELUM ADANYA PERLAWANAN KOLOM

dimana : N_i = Gaya aksial yang terjadi pada balok pratekan
 $= F_o - \Delta F$

Agar gaya aksial yang terjadi pada balok pratekan tetap atau hampir sama seperti yang diinginkan (F_o asli) maka gaya pratekan perlu ditambah sebesar ΔF . Jadi gaya *jacking* yang dibutuhkan:

$$F_{Jack} = F_o + \Delta F = F_o + (F_o - N_i)$$



GAMBAR 5.4. GAYA PRATEGANG SETELAH ADANYA PERLAWANAN KOLOM

Sehingga : $N_i \text{ Perlu} = F_{Jack} - \Delta F = F_o$

b. *Curing* yang dipercepat

$$UCR = 63 - 20 E_c / 10^6 \geq 11$$

5.5.2.2. Kehilangan akibat susut (*shrinkage / SH*)

$$SH = (USH) \cdot (SSF) \cdot (PSH)$$

dimana :

USH untuk :

- Beton normal $USH = 27000 - 3000 E_c / 10^6$

- Beton ringan $USH = 41000 - 1000 E_c / 10^6$

tetapi harga $USH > 12000$ psi

5.5.2.3. Kehilangan akibat relaksasi (*RET*)

Kehilangan pratekan akibat relaksasi baja untuk interval waktu t s/d t_1 dapat dihitung

dengan persamaan sbb :

☐ Untuk baja relaksasi tinggi (*stress-relieved steel*)

$$RET = f_{st} \cdot \left[\frac{(\log 24.t - \log 24.t_1)}{10} \right] \cdot \left[\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right]$$

dimana :

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \geq 0,05; \quad f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu}$$

☐ Untuk baja relaksasi rendah (*low-relaxation steel*)

$$RET = f_{st} \cdot \left[\frac{(\log 24.t - \log 24.t_1)}{45} \right] \cdot \left[\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right]$$

dimana :

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \geq 0,05; \quad f_{py} = 0,90 \cdot f_{pu}$$

5.6. DISAIN KEKUATAN BATAS PENAMPANG

Perhitungan kekuatan *ultimate* pada umumnya untuk menentukan kekuatan nominal dari suatu penampang, yaitu bahwa suatu penampang harus memenuhi persyaratan :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

Berkaitan dengan ketentuan untuk perencanaan gempa, kuat lentur rencana penampang beton prategang harus mempunyai nilai minimum 1,2 kali momen retaknya:

$$M_u \geq 1,2 \cdot M_{cr} \quad \text{..... (SK SNI '91, Ayat 3.11.8 butir 3)}$$

Modulus runtuh yang disyaratkan,

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f_c'} = 0,7 \cdot \sqrt{33,8} = 4,07 \text{ MPa}$$

Momen perlawanan oleh gaya prategang,

$$M_{dec} = F \cdot \left(e + \frac{r^2}{c_b} \right)$$

Momen perlawanan total pada keadaan retak,

$$M_{cr} = M_{dec} + f_r \cdot \frac{I}{c_b}$$

Kemudian untuk menjamin agar penampang berada dalam kondisi *underreinforced*, (SK SNI '91, Ayat 3.11.8 butir 1) membatasi rasio baja tulangan prategang dan baja tulangan non-prategang dengan :

$$[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')] \leq 0,36 \cdot \beta_1$$

dimana : $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30)$

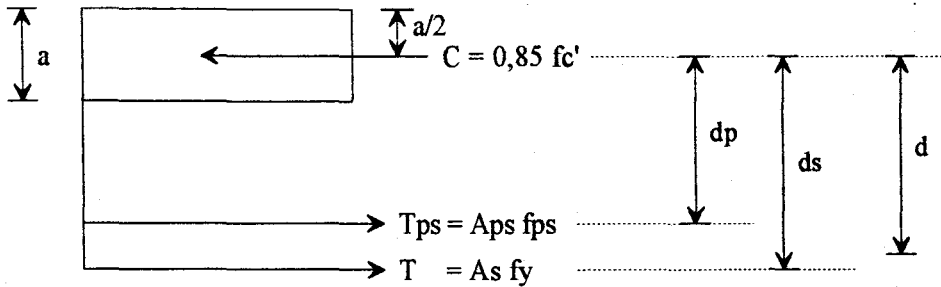
Dalam menghitung kuat lentur rencana dari tendon prategang, digunakan fps yang ditentukan seperti berikut ini :

$$\text{Untuk} \quad \left[\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \geq 0,17$$

$$fps = f_{pu} \cdot \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) \right]$$

5.6.1. Perencanaan Kekuatan Nominal Untuk Penampang Persegi

Kestimbangan gaya pada penampang beton dapat dilihat pada Gambar 5.8 sbb :



GAMBAR 5.8. KESETIMBANGAN GAYA PADA PENAMPANG

Dari diagram di atas dengan memperhatikan syarat keseimbangan :

$$C = T_{ps} + T$$

$$= 0,85 . fc' . b . a (d - a/2)$$

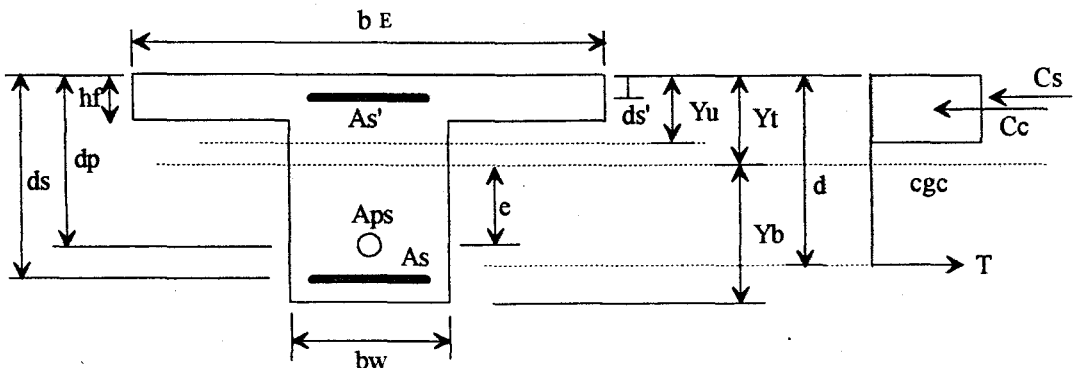
Kuat nominal lentur yang dapat dipikul oleh penampang seperti di atas dapat dinyatakan dalam persamaan sbb :

$$M_n = C \text{ atau } (T_{ps} + T) (d - 0,5 . a)$$

$$= 0,85 . fc' . b . a (d - 0,5 . a), \text{ atau}$$

$$M_n = (A_{ps} . f_{ps} + A_s . f_y) (d - a/2)$$

5.6.2. Perencanaan Kekuatan Nominal Untuk Penampang T



GAMBAR 5.9. KESETIMBANGAN GAYA PADA PENAMPANG T

Jika $c \leq hf$ suatu penampang dianggap sebagai penampang persegi dengan $b = bE$, jika $c > hf$ penampang tersebut dianggap sebagai penampang T murni.

Dalam perencanaan langkah pertama adalah menentukan letak garis netral c . Untuk itu penampang T dianggap sebagai penampang persegi dimana c ditentukan dari $c = a/\beta_1$. Kemudian harga c dibandingkan dengan harga hf .

Dari gambar di atas diperoleh :

$$Aps \cdot fps + As \cdot fy = 0.85 \cdot fc' \cdot \beta_1 \cdot Yu + As' \cdot Es \left(\frac{Yu - ds'}{Yu} \cdot 0.003 + \epsilon_{cs}' \right)$$

Kekuatan nominalnya adalah :

$$Mn = 0.85 \cdot fc' \cdot \beta_1 \cdot Yu \cdot bE \left(d - \frac{\beta_1 \cdot Yu}{2} \right) + As' \cdot Es \left(\frac{Yu - ds'}{Yu} \cdot 0.003 \cdot \epsilon_{cs}' \right) (d - ds')$$

Konsep index penulangan.

$$q = \omega_p + \omega + \omega' \leq 0.36 \cdot \beta_1$$

$$\text{dimana : } \omega_p = \frac{Aps \cdot fps}{b \cdot d_p \cdot fc'} = \rho_p \cdot \frac{fps}{fc'}$$

$$\omega = \frac{As \cdot fy}{b \cdot d \cdot fc'} = \rho \cdot \frac{fys}{fc'}$$

$$\omega' = \frac{As' \cdot fy}{b \cdot d \cdot fc'} = \rho' \cdot \frac{fy}{fc'}$$

Dalam menganalisa penampang persegi dengan penulangan tarik pratekan dan non-pratekan serta penulangan tekan, dianggap bahwa tegangan tarik dan tekan tulangan non-pratekan mencapai leleh, sehingga kesetimbangan gaya dalamnya adalah :

$$0.85 \cdot fc' \cdot b \cdot a = Aps \cdot fps + fy \cdot (As - As')$$

Jika kedua sisi kita bagi dengan $b \cdot d \cdot fc'$, maka persamaan di atas menjadi :

$$\frac{0.85 \cdot a}{d} = q$$

sehingga :

$$a = \frac{q \cdot d}{0,85} = 1,18 \cdot q \cdot d$$

Jadi letak garis netral dapat ditentukan dari persamaan :

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,18 \cdot q \cdot d}{\beta_1}$$

Dengan mengambil nilai a dari persamaan di atas maka besarnya kuat momen nominal :

$$M_n = f_c' \cdot b^2 \cdot d \cdot q (1 - 0,59 \cdot q)$$

5.7. GESER BALOK PRATEKAN

Tulangan geser diperlukan untuk mengatasi retak pada balok pratekan. Retak pada balok pratekan ada 2 jenis yaitu :

1. Retak badan (*web crack*)
2. Retak lentur geser miring (*Inclined Flexure Shear Cracking*)

5.7.1. Retak Badan (V_{cw})

Retak ini disebabkan oleh tegangan tarik yang terjadi (f_t) lebih besar dari kekuatan tarik beton. Yang paling berpengaruh pada retak ini adalah tebal tipisnya badan, dan besar kecilnya gaya geser. Dengan demikian retak badan ini umumnya terjadi pada daerah perletakan dimana gaya gesernya besar. Besarnya kekuatan retak badan ini dapat dihitung dengan persamaan sbb :

$$V_{cw} = 0,3 \cdot (\sqrt{f_c'} + f_{pc}) \cdot b_w \cdot d + V_p \dots\dots\dots$$

..... (SK SNI '91, Ayat 3.4.4 butir 2 sub butir 1)

dimana : $f_{pc} = F_{se} / A_c$

$$V_p = 0,5 \cdot p' \cdot L \dots\dots\dots p' = 8 \cdot F \cdot h / L^2$$

5.7.2. Retak Lentur Geser Miring (V_{ci})

Retak ini biasanya diawali oleh retak lentur, kemudian berangsur-angsur terjadi retak miring. Retak ini terjadi pada keadaan tulangan *under reinforcement* dan pada umumnya terjadi

pada daerah lapangan. Besarnya kekuatan retak jenis ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada SK SNI '91, Ayat 3.4.4 butir 2 sbb :

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} \right) b_w \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{max}}$$

$$V_{ci} \geq \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{7} \right) b_w \cdot d$$

dimana : V_d = Gaya geser akibat berat sendiri (w_g)

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \left[\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + f_{pe} - f_d \right]$$

$$f_d = Mg / Z_b$$

$$f_{pe} = \frac{F_e \cdot (e + kt)}{Z_b}$$

V_i dan M_{max} masing-masing adalah gaya geser dan momen akibat beban maksimum.

☐ Penulangan Geser

Penulangan geser diperlukan apabila $V_n > V_c$

maka :

$$V_s = V_n - V_c = \frac{V_n}{\phi} - V_c \text{ dan}$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} \text{ atau } s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

syarat :

$$\text{- Tulangan geser minimum} = A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y}$$

$$\begin{aligned} \text{- Jarak spasi maksimum} &= s \leq 3/4 \cdot h \\ &\leq 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$F_i = 260 \text{ ton}$$

$$F = 208 \text{ ton (lump sum lost of prestress } \pm 20 \% \text{)}$$

$$\sigma_{gi} = F_i / A_c = 26000 / 6804 = 38,21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_g = F / A_c = 208000 / 6804 = 30,57 \text{ kg/cm}^2$$

□ Perhitungan harga k_t' dan k_b'

$$k_t' > 24,883 (1 - 152,1/30,57) > -98,92 \text{ cm}$$

$$k_t' > -13,592 (1 + 29,1/30,57) > -26,53 \text{ cm} \dots \text{ (menentukan)}$$

$$k_b' < 24,883 (1 + 13,6/38,21) < 33,74 \text{ cm} \dots \text{ (menentukan)}$$

$$k_b' < -13,592 (1 - 178,4/38,21) < 49,87 \text{ cm}$$

□ Perhitungan e_{ou} dan e_{ol}

a. Tumpuan I (angker hidup)

$$e_{ou} = -26,53 - \frac{20460000}{208000} = -124,895 \text{ cm}$$

$$e_{ol} = 33,74 - \frac{13800000}{260000} = -19,337 \text{ cm}$$

b. Lapangan

$$e_{ou} = -26,53 + \frac{11820000}{208000} = 30,297 \text{ cm}$$

$$e_{ol} = 33,74 + \frac{7948000}{260000} = 64,309 \text{ cm}$$

c. Tumpuan J (angker mati)

$$e_{ou} = -26,53 - \frac{20790000}{208000} = -126,482 \text{ cm}$$

$$e_{ol} = 33,74 - \frac{14010000}{260000} = -20,145 \text{ cm}$$

Pada perencanaan balok pratekan ini pada daerah tumpuan dipakai selimut beton 10 cm dan pada daerah lapangan dipakai selimut beton 15 cm. Jadi harga e_o pada tumpuan = 21,794 cm dan pada daerah lapangan $e_o = 43,206$ cm, dimana harga ini memenuhi persamaan diatas. Untuk harga limit kabel pada balok pratekan yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.2.

5.8.4. Perhitungan Gaya *Jacking* Yang Diperlukan

Sebagai contoh diambil balok pratekan yang sama yaitu BP-1. Dari analisa struktur utama didapatkan selisih antara F awal dengan gaya normal pada balok pratekan sebesar 18,21 ton. Jadi untuk mengatasi kehilangan pratekanan akibat perlawanan kolom diperlukan *overstress* sebesar gaya perlawanan kolom tersebut.

$$\begin{aligned} F_{Jacking} &= 260000 + 18210 \\ &= 278210 \text{ kg, dipakai } F_{Jacking} = 280000 \text{ kg.} \end{aligned}$$

5.8.5. Perhitungan Kehilangan Prategangan

5.8.5.1. Kehilangan prategang langsung

$$\begin{aligned} F_o &= 280000 \text{ kg} \\ A_{ps} &= 2171 \text{ mm}^2 \\ f_{ps} &= F_o / A_{ps} = 2,8 \text{ E6} / 2171 \\ &= 1289,73 \text{ MPa} < 0,7 f_{pu} = 1303,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Karakteristik untuk 7 wire strands yang direncanakan :

$$\begin{aligned} \mu &= 0,2 / \text{radial} \\ K &= 0,0016 / \text{m} \\ slip (g) &= 0,1 \text{ cm} \\ f &= 65 \text{ cm} \\ \alpha &= \frac{8 \cdot f}{l} = \frac{8 \cdot 65}{1600} = 0,325 \text{ radial} \\ \sigma_o &= 0,8 \cdot f_{pu} = 0,8 \cdot 1862 = 1489,6 \text{ MPa} = 14896 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$E_p = 1,96E6 \text{ kg/cm}^2$$

□ Akibat slip angker

Jarak slip angker yang diperhitungkan, x

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{\frac{E_p \cdot g}{\sigma_o \left(\frac{\mu \cdot \alpha}{l} + k \right)}} \\ &= \sqrt{\frac{1,96E6 \cdot 0,1 \cdot 100}{14896 \left(\frac{0,2 \cdot 0,325}{16} + 0,0016 \right)}} \\ &= 482,05 \text{ cm} = 4,82 \text{ m} \\ \Delta \sigma &= 2 \cdot \sigma_o \left(\mu \cdot \frac{\alpha}{l} + k \right) \cdot x \\ &= 2 \cdot 14896 \left(0,2 \cdot \frac{0,325}{16} + 0,0016 \right) \cdot 4,82 \\ &= 813,12 \text{ kg/cm}^2 \\ \Delta F &= A_{ps} \cdot \Delta \sigma = 21,71 \cdot 813,12 \\ &= 17652,84 \text{ kg} \end{aligned}$$

□ Akibat gesekan dan Efek *Wobble*

$$\begin{aligned} F_1 &= F_o \cdot e^{-(\mu \cdot 0,5 \cdot \alpha + k \cdot 0,5 \cdot L)} \\ &= 280000 \cdot e^{-(0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,325 + 0,0016 \cdot 0,5 \cdot 16)} \\ &= 267599 \text{ kg} \\ \Delta F &= 280000 - 267599 = 12401 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sisa gaya prategang akibat slip angker dan *wobble effect* adalah :

$$\begin{aligned} F_1 &= 280000 - 17652,84 - 12401 \\ &= 249946 \text{ kg} \end{aligned}$$

5.8.5.2. Perhitungan kehilangan prategangan tak langsung

Diambil balok pratekan BP-1 sebagai contoh,

$$b = 50 \text{ cm}, \quad t = 12 \text{ cm}, \quad A_{ps} = 21,71 \text{ cm}^2 \text{ (VSL grade 270 K)}$$

$$h = 90 \text{ cm}, \quad A_c = 6804 \text{ cm}^2, \quad bE = 242 \text{ cm}$$

$$V/S = \frac{6804 L}{664 L} = 10,25 \text{ cm} = 4,04 \text{ in}$$

$$\text{untuk } V/S = 4,04 \text{ in}, \quad SCF = 0,77 : SSF = 0,77$$

$$E_c = 27325 \text{ MPa} = 3891618 \text{ psi}$$

$$UCR = 95 - 20.E_c/10^6$$

$$= 95 - 20 \cdot 3891618/10^6 = 17,17 \text{ psi} > 11 \text{ Ok}$$

$$USH = 27000 - 3000.E_c/10^6$$

$$= 27000 - 3000 \cdot 3891618/10^6 = 15325 \text{ psi} > 12000 \text{ psi Ok}$$

$$\text{maka : } (UCR)(SCF) = 17,17 \cdot 0,77 = 13,221 \text{ ksi/ksi} = 13,221 \text{ MPa/MPa}$$

$$(USH)(SSF) = 15,325 \cdot 0,77 = 11,800 \text{ ksi} = 81,379 \text{ MPa}$$

☐ Tahap I

Mulai dari akhir curing atau awal pratekanan sampai dengan dua hari setelah pratekanan.

♦ Relaksasi

$$t_1 = 1/24 \quad t_2 = 2$$

Digunakan tendon prategang tipe VSL grade 270 K ($f_{pu} = 1862 \text{ MPa}$)

Sebagai contoh perhitungan dipakai BP-1 dengan $F_{Jacking} = 249946 \text{ kg}$

$$fst = F_o/A_{ps} = 1151,29 \text{ MPa}$$

$$fst/f_{py} = \frac{1151,29}{0,9 \cdot 1862} = 0,687$$

$$RET_1 = fst \cdot \left[\frac{\log 24.t_2 - \log 24.t_1}{45} \right] \cdot (fst / f_{py} - 0,55)$$

$$= 1151,29 * \left[\frac{\log 48 - \log 1}{45} \right] * (0,687 - 0,55) = 5,893 \text{ MPa}$$

- ♦ Kehilangan prategangan akibat susut dan rangkai relatif kecil untuk waktu yang pendek.

$$SH_1 = CR_1 = 0$$

$$\begin{aligned} \text{fst}_1 &= \text{fst} - (RET_1 + SH_1 + CR_1) = 1151,29 - (5,893 + 0 + 0) \\ &= 1145,40 \text{ MPa} \end{aligned}$$

□ Tahap II

Mulai akhir tahap 1 s/d 14 hari, saat *jacking* lantai 2

- ♦ *Relaksasi*

$$t_1 = 2 \quad t_2 = 14 \quad \text{fst}_1 = 1145,40 \text{ MPa}$$

$$\text{fst}_1 / f_{py} = \frac{1145,40}{0,9 * 1862} = 0,683$$

$$\begin{aligned} RET_2 &= 1145,40 * \left[\frac{\log 24 \times 14 - \log 24 \times 2}{45} \right] * (0,683 - 0,55) \\ &= 2,861 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- ♦ *Creep*

$$t_2 = 14 \text{ hari} \quad PCR = AUC(14) - AUC(2) = 0,264 - 0,15 = 0,114$$

$$MCF = 0,912$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{N}{A_c} \\ &= \frac{2499460}{680400} = 3,674 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_2 &= (UCR)(SCF)(PCR)(MCF).f_c \\ &= 13,221 * 0,114 * 0,912 * 3,674 = 5,05 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- ♦ *Shrinkage*

$$t_2 = 14 \text{ hari} \quad PSH = AUS(14) - AUS(2) = 0,302 - 0,115 = 0,187$$

$$\begin{aligned}
 SH_2 &= (USH).(SSF).(PSH) \\
 &= 81,379 * 0,187 = 15,218 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow fst_2 &= fst_1 - (RET_2 + CR_2 + SH_2) \\
 &= 1145,40 - (2,861 + 5,05 + 15,218) \\
 &= 1122,27 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

□ Tahap III

a. Pada saat ini waktu yang diperhitungkan adalah

♦ *Relaksasi*

$$t_1 = 14 \quad t_2 = 45 \quad fst_2 = 1122,27 \text{ MPa}$$

$$fst_2 / fpy = \frac{1122,27}{0,9 * 1862} = 0,670$$

$$\begin{aligned}
 RET_{3a} &= 1122,27 * \left[\frac{\log 24.45 - \log 24.14}{45} \right] * (0,670 - 0,55) \\
 &= 1,518 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 14 \text{ hari} \quad AUC = 0,264$$

$$t_2 = 45 \text{ hari} \quad AUC = 0,40 \quad PCR = 0,40 - 0,264 = 0,136$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned}
 fc &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{fst_2}{fst_1} \\
 &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1122,27}{1145,40} = 3,60 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CR_{3a} &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).fc \\
 &= 13,221 * 0,136 * 0,6 * 3,60 = 3,884 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

♦ *Shrinkage*

$$t_1 = 14 \quad AUS = 0,302$$

$$t_2 = 45 \quad AUS = 0,485 \quad PSH = 0,485 - 0,302 = 0,183$$

$$\begin{aligned} SH_{3a} &= (USH).(SSF).(PSH) \\ &= 81,379 * 0,183 = 14,892 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright f_{st_{3a}} &= f_{st_2} - (RET_{3a} + CR_{3a} + SH_{3a}) \\ &= 1122,27 - (1,518 + 3,884 + 14,892) = 1101,98 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Pada saat ini waktu yang diperhitungkan adalah

$$t_1 = 45 \quad t_2 = 90 \quad f_{st_{3a}} = 1101,98 \text{ MPa}$$

♦ *Relaksasi*

$$f_{st_{3a}} / f_{py} = \frac{1101,98}{0,9 * 1862} = 0,658$$

$$\begin{aligned} RET_{3b} &= 1101,98 * \left[\frac{\log 24.90 - \log 24.45}{45} \right] * (0,658 - 0,55) \\ &= 0,796 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 45 \quad AUC = 0,40$$

$$t_2 = 90 \quad AUC = 0,51 \quad PCR = 0,51 - 0,40 = 0,11$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{f_{st_{3a}}}{f_{st_2}} \\ &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1101,98}{1122,27} = 3,607 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_{3b} &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).f_c \\ &= 13,221 * 0,11 * 0,6 * 3,607 = 3,147 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Shrinkage*

$$t_1 = 45 \quad AUS = 0,485$$

$$t_2 = 90 \quad AUS = 0,62 \quad PSH = 0,62 - 0,485 = 0,135$$

$$\begin{aligned} SH_{3b} &= (USH).(SSF).(PSH) \\ &= 81,379 * 0,135 = 10,986 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow fst_{3b} &= fst_{3a} - (RET_{3b} + CR_{3b} + SH_{3b}) \\ &= 1101,98 - (0,796 + 3,147 + 10,986) = 1087,05 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Pada saat ini waktu yang diperhitungkan adalah

$$t_1 = 90 \quad t_2 = 365 \quad fst_{3b} = 1087,05 \text{ MPa}$$

♦ *Relaksasi*

$$fst_{3b}/fpy = \frac{1087,05}{0,9 \cdot 1862} = 0,649$$

$$\begin{aligned} RET_{3c} &= 1087,05 * \left[\frac{\log 24.365 - \log 24.90}{45} \right] * (0,649 - 0,55) \\ &= 1,454 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 90 \quad AUC = 0,51$$

$$t_2 = 365 \quad AUC = 0,74 \quad PCR = 0,74 - 0,51 = 0,23$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned} fc &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{fst_{3b}}{fst_{3a}} \\ &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1087,05}{1101,98} = 3,624 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_{3c} &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).fc \\ &= 13,221 * 0,23 * 0,6 * 3,624 \\ &= 6,612 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Shrinkage*

$$t_1 = 90 \quad AUS = 0,62$$

$$t_2 = 365 \quad AUS = 0,86 \quad PSH = 0,86 - 0,62 = 0,24$$

$$\begin{aligned} SH_{3c} &= (USH).(SSF).(PSH) \\ &= 81,379 \cdot 0,24 = 19,531 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright f_{st_{3c}} &= f_{st_{3b}} - (RET_{3c} + CR_{3c} + SH_{3c}) \\ &= 1087,05 - (1,454 + 6,612 + 19,531) = 1059,45 \text{ MPa} \end{aligned}$$

□ Tahap IV

$$t_1 = 365 \text{ hari} \quad t_2 = 40 \text{ tahun} \quad f_{st_{3c}} = 1059,45 \text{ MPa}$$

♦ *Relaksasi*

$$f_{st_{3c}} / f_{py} = \frac{1059,45}{0,9 \cdot 1862} = 0,632$$

$$\begin{aligned} RET_4 &= 1059,45 \cdot \left[\frac{\log 24.365.40 - \log 24.365}{45} \right] \cdot (0,632 - 0,55) \\ &= 3,093 \text{ MPa} \end{aligned}$$

♦ *Creep*

$$t_1 = 365 \text{ hari} \quad AUC = 0,74$$

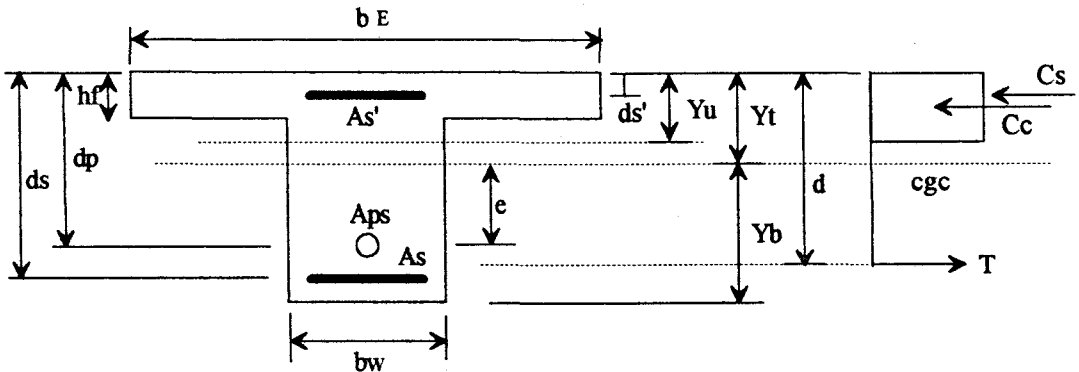
$$t_2 = 40 \text{ th} \quad AUC = 1 \quad PCR = 1 - 0,74 = 0,26$$

$$MCF = 0,6$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{N}{Ac} \cdot \frac{f_{st_{3c}}}{f_{st_{3b}}} \\ &= \frac{2499460}{680400} \cdot \frac{1059,45}{1087,05} = 3,580 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_4 &= (UCR).(SCF).(PCR).(MCF).f_c \\ &= 13,221 \cdot 0,26 \cdot 0,6 \cdot 3,580 = 7,384 \text{ MPa} \end{aligned}$$

□ Kondisi penampang bertulang lemah



Dengan anggapan balok berperilaku sebagai penampang persegi selebar bE , maka gaya-gaya dalam memberikan :

$$A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y = 0,85.f_c'.\beta_1.Y_u.bE + A_s'.E_s.\left[\frac{Y_u - ds'}{Y_u} \cdot 0,003 + \epsilon_{cs}'\right]$$

dimana :

$$\begin{aligned}\epsilon_{cs}' &= \frac{F}{E_c} \left[\frac{1}{A_c} - \frac{e}{I} (C_t - ds') \right] \\ &= \frac{2,25E6}{27325} * \left[\frac{1}{680400} - \frac{432,06}{5,38E10} (317,94 - 50) \right] \\ &= -0,0000562\end{aligned}$$

sehingga :

$$\begin{aligned}A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y &= 2171 * 1753,913 + 1964 * 320 \\ &= 4436225,123 \text{ N} \\ &= 0,85.f_c'.\beta_1.Y_u.bE + A_s'.E_s.\left[\frac{Y_u - ds'}{Y_u} \cdot 0,003 + \epsilon_{cs}'\right] \\ &= 0,85*33,8*0,82*Y_u*2420 + 1964*200000*\left[\frac{Y_u - 50}{Y_u} * 0,003 - 0,0000562\right] \\ 4436225,123 &= 57011,81*Y_u + 1,1784E6 - 5,892E7/Y_u - 22075,36 \\ &= 57011,81 * Y_u^2 - 3,28E6 * Y_u - 5,892E7 = 0\end{aligned}$$

$$Y_u = 71,90 \text{ mm}$$

$$0,82 \cdot Y_u = 0,82 \cdot 71,90 = 58,958 \text{ mm} < h_f = 120 \text{ mm}$$

□ Balok berperilaku sebagai penampang persegi.

Tinggi efektif penampang adalah :

$$d = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d_s}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$= \frac{2171 \cdot 1753,913 \cdot 750 + 1964 \cdot 320 \cdot 850}{2171 \cdot 1753,913 + 1964 \cdot 320} = 764,17 \text{ mm}$$

Momen Nominal penampang ditengah bentang

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot Y_u \cdot bE \left[d - \frac{\beta_1 \cdot Y_u}{2} \right] +$$

$$A_s' \cdot E_s \left[\frac{Y_u - d_s'}{Y_u} \cdot 0,003 + \epsilon_{cs'} \right] \cdot (d - d_s')$$

$$= 0,85 \cdot 33,8 \cdot 0,82 \cdot 71,90 \cdot 2420 \cdot \left[850 - \frac{58,958}{2} \right] +$$

$$1964 \cdot 200000 \cdot \left[\frac{71,90 - 50}{71,90} \cdot 0,003 - 0,0000562 \right] \cdot (850 - 50)$$

$$= 3363438069 + 269482521,4$$

$$= 3632920590 = 3,633E9 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 3,633E9$$

$$= 2906,4 \text{ kN-m} > 1,2 M_{cr} \dots\dots\dots \text{ Ok}$$

5.8.8. Geser Balok Pratekan

$$F_e = 2,25E6 \text{ N}$$

$$b_w = 500 \text{ mm}$$

$$d = 850 \text{ mm}$$

$$A_c = 680400 \text{ mm}^2$$

□ Kekuatan geser beton

Pada jarak x (dari muka tumpuan) = $0,5 \cdot h = 45 \text{ cm}$

$$V_n = 6,967E5/0,6$$

$$= 1,163E6 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,3 \cdot \left(\sqrt{f_{c'}} + f_{pc} \right) \cdot b_w \cdot d + V_p$$

$$f_{pc} = \frac{2,25E6}{680400} = 3,31 \text{ MPa}$$

$$V_p = \frac{0,5 \cdot 8 \cdot 2,25E6 \cdot 650}{16000} = 365625 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,30 \cdot \left(\sqrt{33,8} + 3,31 \right) \cdot 500 \cdot 850 + 365625$$

$$= 1528906,534 \text{ N} > V_n = 1,163E6 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 2,08E9 \text{ N-mm} = 2080 \text{ kN-m}$$

$$M_{cr} = Z_b \cdot \left(\sqrt{\frac{f_{c'}}{2}} + f_{pc} \right)$$

$$\begin{aligned} f_{pc} &= \frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \cdot e}{Z_b} \\ &= \frac{2,25E6}{680400} + \frac{2,25E6 \cdot 432,06}{9,25E7} = 13,816 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$M_{cr} = 9,25E7 \cdot \left(\sqrt{\frac{33,8}{2}} + 13,816 \right)$$

$$= 1,658E9 \text{ Nmm} = 1658 \text{ kN-m}$$

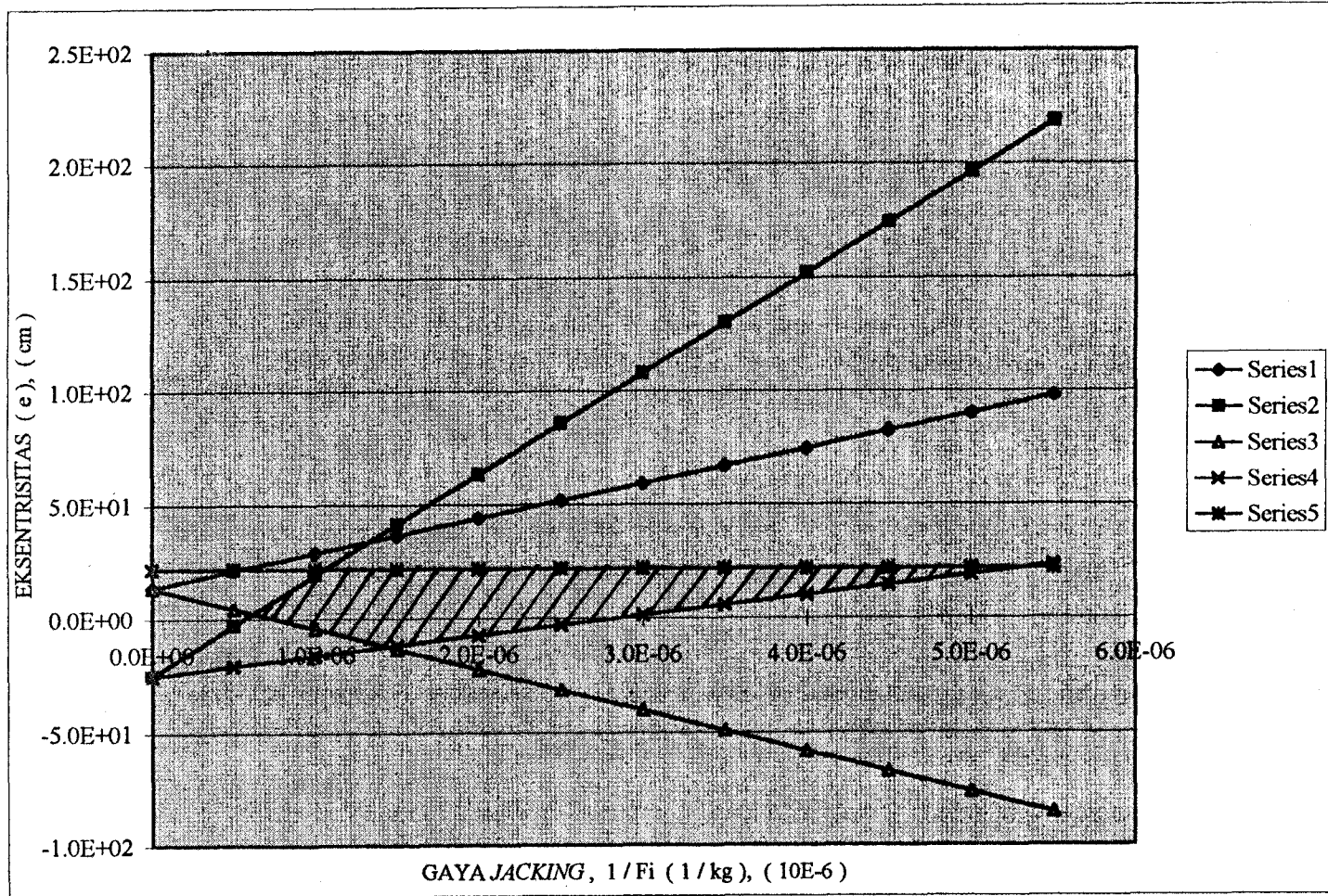
$$V_{ci} = \left(\frac{1}{20} \sqrt{f_{c'}} \right) \cdot b \cdot d + \left(\frac{V_i}{M_{\max}} \right) \cdot M_{cr}$$

$$= \left(\frac{1}{20} \sqrt{33,8} \right) \cdot 500 \cdot 850 + \frac{1,074E5}{2,08E9} \cdot 1,658E9$$

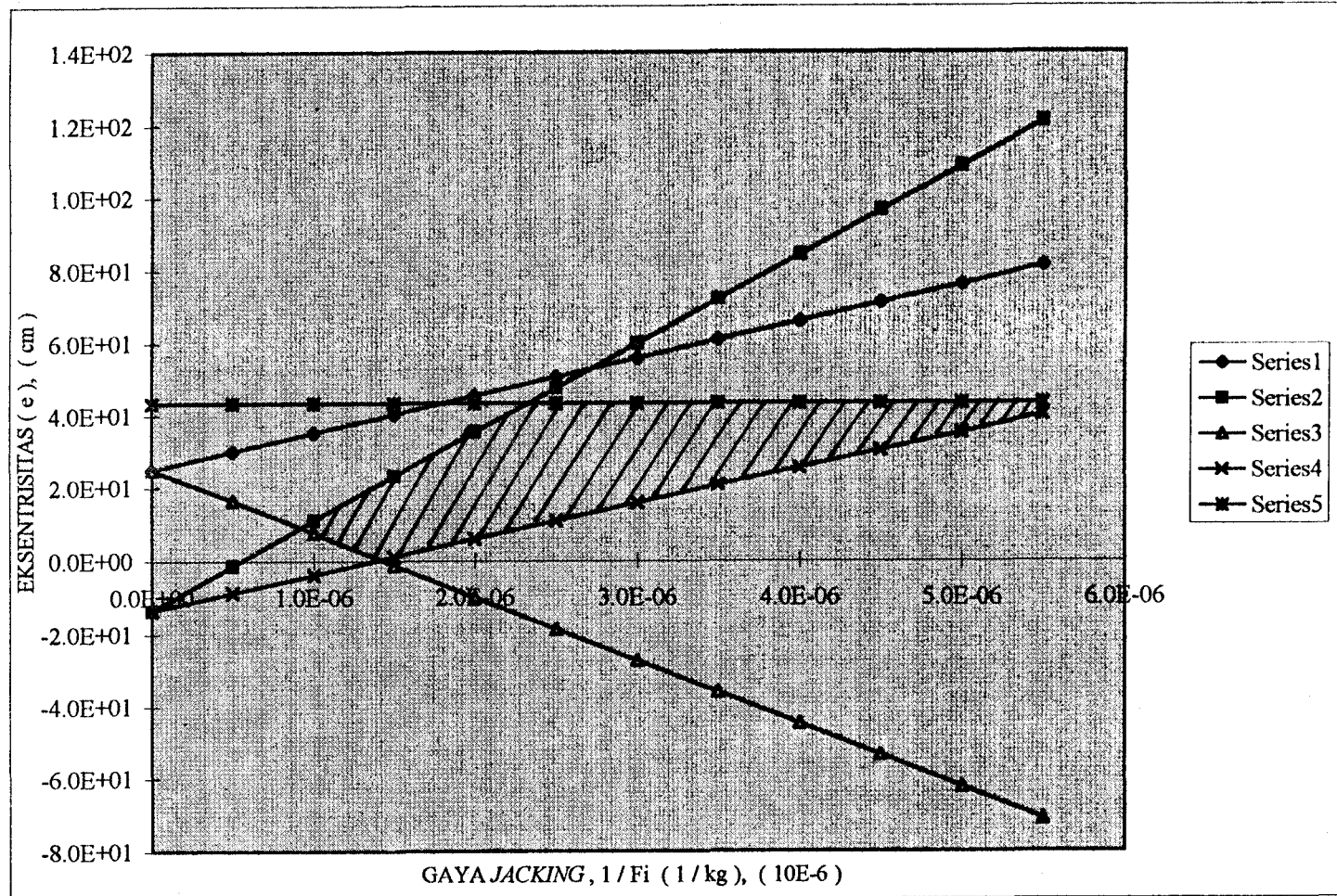
$$= 123542,756 + 85610,19$$

$$= 209152,89 > 1,074E5 \text{ N}$$

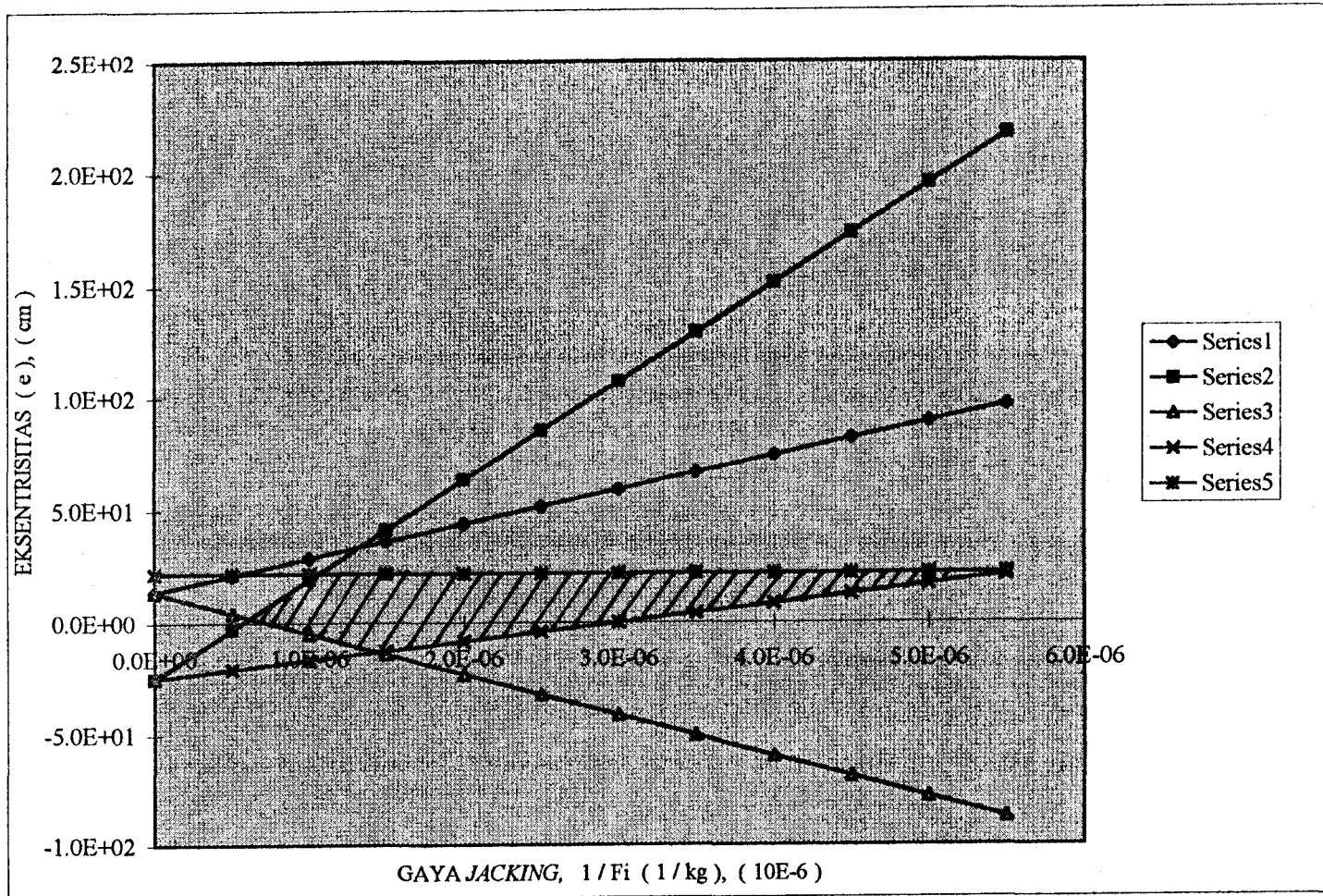
Dari analisa diatas didapat bahwa gaya geser yang terjadi pada balok pratekan lebih kecil dari kemampuan balok dalam memikul gaya geser. Untuk selanjutnya tulangan geser dipasang praktis, yaitu D12 - 300 mm.



GAMBAR 5.10-A. GAYA JACKING YANG DIPERLUKAN PADA TUMPUAN (1) BALOK PRATEKAN LANTAI 1



GAMBAR 5.10-B. GAYA JACKING YANG DIPERLUKAN PADA LAPANGAN BALOK PRATEKAN LANTAI 1



GAMBAR 5.10-C. GAYA JACKING YANG DIPERLUKAN PADA TUMPUAN (J) BALOK PRATEKAN LANTAI 1

**TABEL 5.1. GAYA PRATEKAN AWAL PADA
MASING-MASING LANTAI**

Tipe balok	Taraf lantai	Gaya pratekan perlu		
		Ujung I (kg)	Lapangan (kg)	Ujung J (kg)
Bp-1	1	260000	260000	260000
Bp-2	2	260000	260000	260000
Bp-3	3	200000	200000	200000

PARAMETER BALOK PRATEKAN

Ac (mm ²)	C _t (cm)	C _b (cm)	f _c ' (MPa)	f _{ci} ' (MPa)	Saat jacking		Saat beb. kerja		σ _{gi} (MPa)	σ _g (MPa)	k _t (cm)	k _b (cm)
					Tarik ijin (MPa)	Tekan ijin (MPa)	Tarik ijin (MPa)	Tekan ijin (MPa)				
680400	31.79	58.21	33.800	29.744	-1.363	17.846	-2.907	15.210	3.821	3.057	13.592	24.883
680400	31.79	58.21	33.800	29.744	-1.363	17.846	-2.907	15.210	3.821	3.057	13.592	24.883
610000	34.51	55.49	33.800	29.744	-1.363	17.846	-2.907	15.210	3.279	2.623	14.592	23.465

TABEL 5.2. PERHITUNGAN DAERAH LIMIT KABEL BALOK PRATEKAN

Tipe balok	M_{min}			M_{max}			P_o			P			k'	k_b'	Tumpuan I			Lapangan			Tumpuan J		
	Tump. I (kg.cm)	Lap. (kg.cm)	Tump. J (kg.cm)	Tump. I (kg.cm)	Lap. (kg.cm)	Tump. J (kg.cm)	Tump. I (kg)	Lap. (kg)	Tump. J (kg)	Tump. I (kg)	Lap. (kg)	Tump. J (kg)			e_{su} (cm)	e_{sl} (cm)	e_o ada (cm)	e_{su} (cm)	e_{sl} (cm)	e_o ada (cm)	e_{su} (cm)	e_{sl} (cm)	e_o ada (cm)
Lantai 1 BP-1	-1.380E+07	7.948E+06	-1.401E+07	-2.046E+07	1.182E+07	-2.079E+07	260000	260000	260000	208000	208000	208000	-26.516	33.761	-124.882	-19.296	-21.790	30.310	64.331	43.206	-126.468	-20.119	-21.790
Lantai 2 BP-2	-1.380E+07	7.919E+06	-1.407E+07	-2.048E+07	1.177E+07	-2.087E+07	260000	260000	260000	208000	208000	208000	-26.516	33.761	-124.978	-19.296	-21.794	30.075	64.219	43.206	-126.872	-20.339	-21.794
Lantai 3 BP-3	-1.070E+07	6.455E+06	-1.075E+07	-1.384E+07	8.333E+06	-1.401E+07	200000	200000	200000	160000	160000	160000	-30.764	33.223	-117.232	-20.292	-24.508	21.318	65.498	40.490	-118.295	-20.547	-24.508

**TABEL 5.3. KEHILANGAN GAYA PRATEKAN
AKIBAT PERLAWANAN KOLOM**

Tipe balok	Fo asli (Ton)	ΔF (Ton)	F perlu (Ton)	F pakai (Ton)
Lantai 1 BP-1	260	18.21	278.21	280
Lantai 2 BP-2	260	18.21	278.21	280
Lantai 3 BP-3	200	9.62	209.62	210

TABEL 5.4. KEHILANGAN PRATEGANG LANGSUNG

$\mu = 0.2 / \text{rad}$
 $k = 0.0016 / \text{m}$

$E_p = 1.96 \text{E}+5 \text{ MPa}$
 $g = 1 \text{ mm}$

$\sigma_o = 0.8 \text{ fpu}$

Tipe balok	F _o (N)	A _{ps} (mm ²)	σ_o (MPa)	L (m)	f (m)	α (radial)	$(\mu\alpha/l + k)$ (1/m)	x (m)	ΔF		F _e (N)
									Slip angker (N)	Wobble effect (N)	
Lantai 1 BP-1	2800000	2171	1489.6	16	0.65	0.325	0.006	4.820	1.765E+05	1.240E+05	2.499E+06
Lantai 2 BP-2	2800000	2171	1489.6	16	0.65	0.325	0.006	4.820	1.765E+05	1.240E+05	2.499E+06
Lantai 3 BP-3	2100000	1678	1489.6	16	0.65	0.325	0.006	4.820	1.365E+05	9.301E+04	1.871E+06

TABEL 5.5. KEHILANGAN PRATEGANG AKIBAT FUNGSI WAKTU

TAHAP 1 : SAAT JACKING LANTAI 1

TABEL 5.5-A. RELAKSASI BAJA TAHAP 1

Umur beton saat jacking adalah 21 hari

Tipe tendon adalah VSL grade 270 K

Umur beton lantai 1 = 21 hari

Tipe balok	F (N)	Hari setelah <i>Jacking</i>		Aps (mm ²)	fpu (MPa)	fst (MPa)	fst/fpy (MPa)	RET1 (MPa)
		t1 (hari)	t2 (hari)					
Lantai 1 BP-1	2499460	0.042	2	2171	1862	1151.29	0.687	5.893

TAHAP 2 : (SAAT JACKING LANTAI 2)

TABEL 5.5-B.1. RELAKSASI BAJA TAHAP 2

Umur beton saat jacking adalah 21 hari
Tipe tendon adalah VSL grade 270 K

Umur beton lantai 1 = 35 hari
Umur beton lantai 2 = 21 hari

Tipe balok	F (N)	Hari setelah Jacking		Aps (mm ²)	fpu (MPa)	fst ₁ (MPa)	fst ₁ /fpy (MPa)	RET ₁ (MPa)
		t ₁ (hari)	t ₂ (hari)					
Lantai 1 BP-1	2499460	2	14	2171	1862	1145.40	0.683	2.872
Lantai 2 BP-2	2499460	0.042	2	2171	1862	1151.29	0.687	5.893

TABEL 5.5-B.2. SUSUT BETON TAHAP 2

V / S = 4.086

Tipe balok	Hari setelah Jacking		USH (MPa)	SSF	AUS ₁	AUS ₂	PSH	SH ₂ (MPa)
	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)						
Lantai 1 BP-1	2	14	105.700	0.770	0.115	0.302	0.187	15.220
Lantai 2 BP-2	0.042	2	105.700	0.770	0.000	0.115	0.115	0.000

TABEL 5.5-B.3. RANGKAK BETON TAHAP 2

V / S = 4.086

Tipe balok	Hari setelah Jacking		UCR (MPa)	SCF	AUC ₁	AUC ₂	PCR	MCF	fc (MPa)	CR ₂ (MPa)
	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)								
Lantai 1 BP-1	2	14	17.170	0.770	0.150	0.264	0.114	0.912	3.674	5.049
Lantai 2 BP-2	0.042	2	17.170	0.770	0.000	0.150	0.150	0.000	3.674	0.000

TAHAP 3 : SAAT JACKING LANTAI 3

TABEL 5.5-C.1. RELAKSASI BAJA TAHAP 3.a

Umur beton saat jacking adalah 21 hari
Tipe tendon adalah VSL grade 270 K

Umur beton lantai 1 = 49 hari
Umur beton lantai 2 = 35 hari Umur beton lantai 3 = 21 hari

Tipe balok	F (N)	Hari setelah <i>Jacking</i>		Aps (mm ²)	fpu (MPa)	fst ₂ (MPa)	fst ₂ /fpu (MPa)	RET _{3a} (MPa)
		t ₁ (hari)	t ₂ (hari)					
Lantai 1 BP-1	2499460	14	45	2171	1862	1122.27	0.670	1.514
Lantai 2 BP-2	2499460	2	14	2171	1862	1145.40	0.683	2.872
Lantai 3 BP-3	1871000	0.042	2	1678	1862	1115.02	0.665	2.083

TABEL 5.5-C.2. SUSUT BETON TAHAP 3.a

V / S = 4.086

Tipe balok	Hari setelah <i>Jacking</i>		USH (MPa)	SSF	AUS ₁	AUS ₂	PSH	SH _{3a} (MPa)
	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)						
Lantai 1 BP-1	14	45	105.700	0.770	0.302	0.485	0.183	14.894
Lantai 2 BP-2	2	14	105.700	0.770	0.115	0.302	0.187	15.220
Lantai 3 BP-3	0.042	2	105.700	0.770	0.000	0.115	0.115	0.000

TABEL 5.5-C.3. RANGKAK BETON TAHAP 3.a

V / S = 4.086

Tipe balok	Hari setelah <i>Jacking</i>		UCR (MPa)	SCF	AUC ₁	AUC ₂	PCR	MCF	fc (MPa)	CR _{3a} (MPa)
	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)								
Lantai 1 BP-1	14	45	17.170	0.770	0.264	0.4	0.136	0.600	3.599	3.883
Lantai 2 BP-2	2	14	17.170	0.770	0.150	0.264	0.114	0.912	3.674	5.049
Lantai 3 BP-3	0.042	2	17.170	0.770	0.000	0.150	0.150	0.000	2.750	0.000

TABEL 5.5-D.1. RELAKSASI BAJA TAHAP 3.b

Tipe balok	F_{3a} (N)	Umur Jacking		A_{ps} (mm ²)	f_{pu} (MPa)	$f_{st_{3a}}$ (MPa)	$f_{st_{3a}}/f_{py}$ (MPa)	RET_{3b} (MPa)
		t_1 (hari)	t_2 (hari)					
Lantai 1 BP-1	2499460	45	90	2171	1862	1101.98	0.658	0.793
Lantai 2 BP-2	2499460	14	45	2171	1862	1122.27	0.670	1.514
Lantai 3 BP-3	1871000	2	14	1678	1862	1112.94	0.664	2.385

TABEL 5.5-D.2. SUSUT BETON TAHAP 3.b

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur Jacking		USH (MPa)	SSF	AUS_1	AUS_2	PSH	SH_{3b} (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (hari)						
Lantai 1 BP-1	45	90	105.700	0.770	0.485	0.620	0.135	10.988
Lantai 2 BP-2	14	45	105.700	0.770	0.302	0.485	0.183	14.894
Lantai 3 BP-3	2	14	105.700	0.770	0.115	0.302	0.187	15.220

TABEL 5.5-D.3. RANGKAK BETON TAHAP 3.b

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur Jacking		UCR (MPa)	SCF	AUC_1	AUC_2	PCR	MCF	f_c (MPa)	CR_{3b} (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (hari)								
Lantai 1 BP-1	45	90	17.170	0.770	0.4	0.51	0.110	0.600	3.607	3.147
Lantai 2 BP-2	14	45	17.170	0.770	0.264	0.4	0.136	0.600	3.599	3.883
Lantai 3 BP-3	2	14	17.170	0.770	0.150	0.264	0.114	0.912	2.750	3.780

TABEL 5.5-E.1. RELAKSASI BAJA TAHAP 3.c

Tipe balok	F_y (N)	Umur Jacking		A_{ps} (mm ²)	f_{pu} (MPa)	$f_{st_{36}}$ (MPa)	$f_{st_{36}}/f_{py}$ (MPa)	RET_x (MPa)
		t_1 (hari)	t_2 (hari)					
Lantai 1 BP-1	2499460	90	365	2171	1862	1087.05	0.649	1.449
Lantai 2 BP-2	2499460	45	90	2171	1862	1101.98	0.658	0.793
Lantai 3 BP-3	1871000	14	45	1678	1862	1092.59	0.652	1.256

TABEL 5.5-E.2. SUSUT BETON TAHAP 3.c

V/S = 4.086

Tipe balok	Umur Jacking		USH (MPa)	SSF	AUS_1	AUS_2	PSH	SH_x (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (hari)						
Lantai 1 BP-1	90	365	105.700	0.770	0.620	0.860	0.240	19.533
Lantai 2 BP-2	45	90	105.700	0.770	0.485	0.620	0.135	10.988
Lantai 3 BP-3	14	45	105.700	0.770	0.302	0.485	0.183	14.894

TABEL 5.5-E.3. RANGKAIK BETON TAHAP 3.c

V/S = 4.086

Tipe balok	Umur Jacking		UCR (MPa)	SCF	AUC_1	AUC_2	PCR	MCF	f_c (MPa)	CR_x (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (hari)								
Lantai 1 BP-1	90	365	17.170	0.770	0.51	0.74	0.230	0.600	3.624	6.611
Lantai 2 BP-2	45	90	17.170	0.770	0.4	0.51	0.110	0.600	3.607	3.147
Lantai 3 BP-3	14	45	17.170	0.770	0.264	0.400	0.136	0.600	2.700	2.912

TABEL 5.5-F.1. RELAKSASI BAJA TAHAP 4

Tipe balok	F_{sc} (N)	Umur <i>Jacking</i>		A_{ps} (mm ²)	f_{pu} (MPa)	$f_{st_{sc}}$ (MPa)	$f_{st_{sc}}/f_{py}$ (MPa)	RET_s (MPa)
		t_1 (hari)	t_2 (tahun)					
Lantai 1 BP-1	2499460	365	40	2171	1862	1059.45	0.632	3.101
Lantai 2 BP-2	2499460	90	365	2171	1862	1087.05	0.649	1.449
Lantai 3 BP-3	1871000	45	90	1678	1862	1073.53	0.641	0.651

TABEL 5.5-F.2. SUSUT BETON TAHAP 4

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur <i>Jacking</i>		USH (MPa)	SSF	AUS_1	AUS_2	PSH	SH_s (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (tahun)						
Lantai 1 BP-1	365	40	105.700	0.770	0.860	1.000	0.140	11.394
Lantai 2 BP-2	90	365	105.700	0.770	0.620	0.860	0.240	19.533
Lantai 3 BP-3	45	90	105.700	0.770	0.485	0.620	0.135	10.988

TABEL 5.5-F.3. RANGKAK BETON TAHAP 4

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur <i>Jacking</i>		UCR (MPa)	SCF	AUC_1	AUC_2	PCR	MCF	f_c (MPa)	CR_s (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (tahun)								
Lantai 1 BP-1	365	40	17.170	0.770	0.74	1.000	0.260	0.600	3.580	7.384
Lantai 2 BP-2	90	365	17.170	0.770	0.51	0.740	0.230	0.600	3.624	6.611
Lantai 3 BP-3	45	90	17.170	0.770	0.400	0.510	0.110	0.600	2.702	2.358

TABEL 5.5-G.1. RELAKSASI BAJA TAHAP 4

Tipe balok	F_{3c} (N)	Umur Jacking		A_{ps} (mm ²)	f_{pu} (MPa)	f_{st3c} (MPa)	f_{st3c}/f_{py} (MPa)	RET_4 (MPa)
		t_1 (hari)	t_2 (tahun)					
Lantai 2 BP-2	2499460	365	40	2171	1862	1059.45	0.632	3.101
Lantai 3 BP-3	1871000	90	365	1678	1862	1059.52	0.632	1.177

TABEL 5.5-G.2. SUSUT BETON TAHAP 4

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur Jacking		USH (MPa)	SSF	AUS_1	AUS_2	PSH	SH_4 (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (tahun)						
Lantai 2 BP-2	365	40	105.700	0.770	0.860	1.000	0.140	11.394
Lantai 3 BP-3	90	365	105.700	0.770	0.620	0.860	0.240	19.533

TABEL 5.5-G.3. RANGKAK BETON TAHAP 4

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur Jacking		UCR (MPa)	SCF	AUC_1	AUC_2	PCR	MCF	f_c (MPa)	CR_4 (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (tahun)								
Lantai 2 BP-2	365	40	17.170	0.770	0.74	1.000	0.260	0.600	3.553	7.328
Lantai 3 BP-3	90	365	17.170	0.770	0.51	0.740	0.230	0.600	2.714	4.952

TABEL 5.5-H.1. RELAKSASI BAJA TAHAP 4

Tipe balok	F_{3c} (N)	Umur <i>Jacking</i>		A_{ps} (mm ²)	f_{pu} (MPa)	f_{st3c} (MPa)	f_{st3c}/f_{py} (MPa)	RET_4 (MPa)
		t_1 (hari)	t_2 (tahun)					
Lantai 3 BP-3	1871000	365	40	1678	1862	1033.86	0.617	2.464

TABEL 5.5-H.2. SUSUT BETON TAHAP 4

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur <i>Jacking</i>		USH (MPa)	SSF	AUS_1	AUS_2	PSH	SH_4 (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (tahun)						
Lantai 3 BP-3	365	40	105.700	0.770	0.860	1.000	0.140	11.394

TABEL 5.5-H.3. RANGKAK BETON TAHAP 4

V / S = 4.086

Tipe balok	Umur <i>Jacking</i>		UCR (MPa)	SCF	AUC_1	AUC_2	PCR	MCF	f_c (MPa)	CR_4 (MPa)
	t_1 (hari)	t_2 (tahun)								
Lantai 3 BP-3	365	40	17.170	0.770	0.74	1.000	0.260	0.600	2.683	5.534

TABEL 5.6. KONTROL TEGANGAN BETON AKIBAT GAYA PRATEGANG AKHIR

Saat *jacking* :

σ_{ti} ijin = -1.36 MPa

σ_{bi} ijin = 17.84 MPa

Saat beban kerja :

σ_{ts} ijin = -2.91 MPa

σ_{bs} ijin = 15.21 MPa

Tipe balok	F (kg)	Fe (kg)	MG (kg cm)	MT (kg cm)	Ac (mm ²)	C _t (mm)	C _b (mm)	I (mm ⁴)	e (mm)	Saat <i>jacking</i>		Saat beban kerja	
										σ_{ti} ada (MPa)	σ_{bi} ada (MPa)	σ_{ts} ada (MPa)	σ_{bs} ada (MPa)
Lantai 1 BP-1	335000	280000	4.465E+06	1.182E+07	680400	317.94	582.06	5.380E+10	432.060	-0.991	15.752	3.951	4.416
Lantai 2 BP-2	335000	280000	4.464E+06	1.177E+07	680400	317.94	582.06	5.380E+10	432.060	-0.992	15.753	3.922	4.470
Lantai 3 BP-3	250000	210000	3.590E+06	8.333E+06	680400	317.94	582.06	5.380E+10	432.060	-0.587	11.476	2.649	3.887

TABEL 5.7. PERHITUNGAN GAYA PRATEKAN AKHIR YANG DIPAKAI

Tipe balok	Fo (kg)	fst tahap 3 (MPa)	Kehilangan fungsi waktu			fst tahap 4 (MPa)	Aps (mm ²)	sisa prategang (kg)	ΔF (kg)	F akhir perlu (kg)	F akhir pakai (kg)
			Relaksasi tahap 4 (MPa)	Susut tahap 4 (MPa)	Rangkak tahap 4 (MPa)						
Lantai 1 BP-1	280000	1059.45	3.101	11.394	7.384	1037.57	2171	225257	54743	334743	335000
Lantai 2 BP-2	280000	1059.45	3.101	11.394	7.384	1037.57	2171	225257	54743	334743	335000
Lantai 3 BP-3	210000	1033.86	2.464	11.394	5.534	1014.47	1678	170228	39772	249772	250000

BAB VI

ANALISA STRUKTUR UTAMA

6.1. UMUM

Struktur utama gedung ini terdiri dari balok-balok induk dan kolom-kolom, direncanakan untuk menerima beban gravitasi dan beban lateral akibat gempa. Selain itu, balok-balok anak beserta beban yang dipikulnya dianggap membebani balok induk, sehingga pada bentang balok induk akan terdapat beban terpusat yang berasal dari balok-balok anak.

Gaya-gaya dalam dari struktur utama gedung ini dianalisa dengan menggunakan program bantu SAP 90. Segala sesuatu yang dibutuhkan oleh program, seperti data satuan dan material, pembebanan, pemodelan struktur, diuraikan dalam sub bab-sub bab berikut :

6.2. DATA SATUAN DAN DATA MATERIAL

Seluruh satuan yang dipakai dalam analisa struktur utama ini adalah :

- Dimensi gaya : Ton
- Dimensi panjang : m (meter)
- Dimensi waktu : Detik

Material yang dipakai dalam analisa struktur gedung ini adalah :

- Jenis bahan : Beton bertulang
- Berat volume : 2400 kg/m^3
- Mutu beton : K400 ($f_c' = 33,8 \text{ MPa}$)
- Mutu tulangan : U 32 ($f_y = 3200 \text{ kg/m}^2$)

6.3. PEMBEBANAN

6.3.1. Beban Mati

Untuk beban mati diperhitungkan seluruh beban akibat berat sendiri balok, kolom, pelat, dinding/panel, seluruh struktur sekunder dan semua elemen lain yang bersifat tetap sepanjang umur rencana gedung. Beban ini berupa beban terpusat atau merata yang diterima langsung oleh struktur utama maupun yang disalurkan melalui struktur sekunder.

6.3.2. Beban Hidup

Berbeda dengan beban mati yang bersifat tetap setiap waktu, beban hidup tidak selalu terjadi setiap saat. Peluang terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil. Oleh sebab itu beban hidup dianggap tidak efektif sepenuhnya.

Sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPI '83) untuk beban hidup dalam perhitungan balok induk dan portal diberikan reduksi sebagai berikut:

- Pada perencanaan balok-balok induk dan portal dari sistem struktur utama, beban hidup terbagi rata rencana dapat dikalikan dengan :

- * 0,75 untuk ruang penghunian
- * 0,9 untuk ruang pertemuan umum

6.3.3. Beban Gempa

Pada perencanaan sistem struktur penahan beban horizontal/gempa dari suatu gedung, beban hidup gedung tersebut ikut menentukan besarnya beban gempa rencana yang harus dipikul oleh sistem struktur. Seperti yang telah diuraikan diatas bahwa karena peluang terjadinya beban hidup yang kecil, maka untuk perencanaan beban gempa ini sesuai dengan PPI '83 beban hidup dapat direduksi sebagai berikut :

- 0,3 untuk ruang penghunian

- 0,5 untuk ruang pertemuan umum

Dalam perencanaan ini beban rancang lateral dasar akibat gempa harus dikalikan dengan faktor K sebesar 2. Hal ini dilakukan karena struktur direncanakan dengan daktilitas dua.

6.3.4. Beban Akibat *Jacking*

Karena adanya unsur pratekan maka harus diperhitungkan pula gaya pratekan yang diberikan pada struktur. Hal ini diperhitungkan pada perhitungan struktur utama.

6.3.5. Kombinasi Pembebanan

- ☐ Kombinasi pembebanan yang diperhitungkan didasarkan pada SK SNI '91 sebagai berikut

Kuat perlu yang menahan beban mati D dan beban hidup L paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

- ☐ Bila ketahanan struktur terhadap gempa harus diperhitungkan pada perancangan, maka nilai *ultimate* diambil sebesar :

$$U = 1,05 (D + L_r + 2E)$$

Dari kombinasi pembebanan tersebut akan diperoleh gaya-gaya dalam setiap elemen, dimana besar gaya yang dipakai adalah harga maksimum dari hasil kombinasi pembebanan di atas.

6.4. PERMODELAN STRUKTUR

Sistem struktur dimodelkan sebagai *open frame* dengan perletakan jepit pada dasar kolomnya.

Lantai dimodelkan sebagai *rigid floor diaphragma*, sehingga gaya lateral yang berasal dari beban gempa dapat disalurkan ke komponen struktur penahan lateral. Seluruh *joint* dalam satu bidang lantai dianggap tidak dapat bergerak relatif satu terhadap yang lainnya, tetapi *displacement*

dari *joint-joint* tersebut tergantung dari *displacement* dari *master of joint*. Lokasi *master of joint* ini diletakkan pada pusat massa suatu taraf lantai.

6.5. ANALISA STRUKTUR

Setelah memodelkan struktur utama, maka langkah selanjutnya dilakukan analisa struktur terhadap beban-beban gravitasi dan lateral.

Analisa struktur yang dilakukan pada perencanaan ini memakai cara elastis dengan metode elemen hingga.

Sebelum melakukan analisa struktur, terlebih dahulu harus dilakukan *preliminary design* dari konstruksi struktur utama, yaitu balok utama dan kolom. Juga harus diketahui sifat-sifat bahan untuk menentukan kekakuan tiap elemen. Kemudian dilakukan analisa statis dan dinamis yang secara garis besar akan diuraikan berikut ini.

6.5.1. Analisa Statis

Pada analisa statis ini beban yang diperhitungkan adalah berupa :

1. Beban gravitasi (beban mati + beban hidup)
2. Beban akibat gaya *jacking* dari kabel *prestress*.

6.5.2. Analisa Dinamis

Pembebanan yang ditinjau dalam analisa ini adalah pembebanan berupa beban gempa dalam arah lateral. Metode yang dipakai dalam analisa dinamis perencanaan gedung ini adalah *Respon Spektrum Analisa*. Untuk struktur ini dipakai spektrum percepatan respon gempa rencana menurut diagram koefisien gempa dasar C untuk wilayah zone gempa 4 dengan struktur yang berdiri diatas tanah lunak. Harga C yang diperoleh adalah harga tanpa dimensi, jadi respon masing-masing ragam yang ditentukan tersebut adalah respon relatif.

Oleh karena itu dipergunakan faktor skala $s = 9,81 \text{ m/dt}^2$ dengan koefisien peredam

sebesar 5%. Dalam metode ini tingkah laku dinamis elemen struktur diwakili oleh beberapa titik yang dinamakan *master of joint*. *Degree of freedom* dari *joint* ini didefinisikan dengan *restraints* :

$$R = 0,0,1,1,1,0$$

Hal ini berarti bahwa titik-titik pada satu taraf lantai yang sama akan mengikuti gerakan-gerakan *master of joint* tersebut.

6.6. INPUT DATA SAP 90

File input data SAP 90 terdiri dari beberapa blok data. Blok data tersebut berisi informasi-informasi mengenai konfigurasi dan bentuk struktur yang akan dianalisa serta jenis dan bentuk pembebanannya, baik beban statis maupun beban dinamis.

SAP 90 sendiri memiliki 19 jenis blok data yang dapat dipergunakan untuk mendefinisikan bentuk dan karakteristik elemen struktur. Blok data tersebut terdiri dari 4 blok data utama struktur dan 15 blok data karakteristik struktur.

Dalam analisa struktur utama ini digunakan 10 blok data pada SAP 90. Blok data tersebut antara lain :

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. <i>Title line</i> | 6. <i>Frame</i> |
| 2. <i>System</i> | 7. <i>Loads</i> |
| 3. <i>Joints</i> | 8. <i>Prestress</i> |
| 4. <i>Restraints</i> | 9. <i>Spec</i> |
| 5. <i>Masses</i> | 10. <i>Combo</i> |

Berikut uraian singkat mengenai blok data yang akan dipergunakan untuk perhitungan struktur utama .

a. Title Line

Blok data ini merupakan identitas *input* dan *output* perhitungan yang dilakukan oleh SAP 90.

b. System

Blok data ini menjelaskan tentang kontrol informasi yang berhubungan dengan struktur yang akan dianalisa. Kontrol informasi yang dipakai adalah :

L = menyatakan jumlah *loads condition*

V = menyatakan jumlah *eigenvalue*

V yang merupakan jumlah *eigenvalue* bertujuan untuk menunjukkan jumlah dari *mode shape* yang dihitung pada analisa *eigenvalue* dan kemudian dimasukkan ke analisa ragam spektrum. Pada struktur gedung ini jumlah V diambil sebesar 10 buah. Jadi nantinya akibat gempa (beban lateral) ini kita akan mendapatkan 10 buah *mode shape* yang berbeda. Adapun dasar dari pengambilan jumlah *eigenvalue* sebesar 10 buah ini adalah PPTGIUG '83, ayat 2.5.2.1 yang menyatakan bahwa untuk analisa ragam spektrum respon dari struktur-struktur gedung dengan bentuk yang tidak beraturan jumlah ragam yang ditinjau tidak kurang dari 5, tetapi sebagai pedoman, jumlah ragam spektrum respons yang ditinjau tidak perlu lebih dari tingkatnya.

Toleransi konvergen dari *eigenvalue* $T = 0.0001$

c. Joints

Memuat informasi letak titik-titik pada struktur dalam sumbu-sumbu global x, y dan z.

d. Restraints

Memuat informasi mengenai derajat kebebasan / *DOF* tiap-tiap *joints* apakah dilepas atau dikekang.

- Perletakan $R = 1,1,1,1,1,1$

- *Dependent joints* $R = 1,1,0,0,0,1$

- *Master joints* $R = 0,0,1,1,1,0$

e. *Masses*

Pada bagian data blok ini akan didefinisikan lokasi harga massa *joint* dan beberapa harga yang berhubungan dengan data blok ini.

Pada bagian data ini terdiri dari beberapa baris yang mendefinisikan seluruh derajat kebebasan yang memiliki beban massa dalam struktur yang akan dianalisa. Untuk mengakhiri pengisian data ini, diberi satu baris kosong (*blank*).

Bentuk penulisan tiap baris data adalah mengikuti aturan sbb:

$j_1 \quad j_2 \quad inc \quad M = m_x, m_y, m_z, m_{rx}, m_{ry}, m_{rz}$

dimana :

j_1 = nomor joint pertama

j_2 = nomor joint terakhir

inc = penambahan nomor joint

m_x = massa untuk translasi arah sumbu X

m_y = massa untuk translasi arah sumbu Y

m_z = massa untuk translasi arah sumbu Z

m_{rx} = momen inersia massa terhadap sumbu X

m_{ry} = momen inersia massa terhadap sumbu Y

m_{rz} = momen inersia massa terhadap sumbu Z

f. *Frame*

Bagian data ini mendefinisikan segala hal yang berhubungan dengan elemen balok (*beam*) tiga dimensi pada struktur yang dianalisa, baik tentang lokasi, *property* dan beban yang bekerja padanya.

Bentuk penulisan *data blok frame* adalah sebagai berikut :

$$NM = npro \quad NL = nbsl \quad NSEC = nsec$$

$$X = x_1, x_2, \dots, x_{nld}$$

$$Y = y_1, y_2, \dots, y_{nld}$$

$$P = P_1, P_2, \dots, P_{nld}$$

dimana :

$npro$ = jumlah seluruh *property* dari elemen yang ikut menyusun struktur.

$nbsl$ = jumlah dari bentuk bentangan beban.

$x_1, x_2 \dots$ = pengali beban gravitasi, arah sumbu - X

$y_1, y_2 \dots$ = pengali beban gravitasi, arah sumbu - Y

$z_1, z_2 \dots$ = pengali beban gravitasi, arah sumbu - Z

pr_1, pr_2 = pengali beban *prestress*

$nsec$ = jumlah dari gaya-gaya *output*

g. Loads

Bagian data blok ini mendefinisikan pembebanan pada *joint* untuk sejumlah *nld* kondisi pembebanan.

Bentuk penulisan *data blok loads* adalah mengikuti aturan sbb:

$$j_1 \quad j_2 \quad inc \quad L=1 \quad F = f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z$$

dimana :

j_1 = nomor joint pertama

j_2 = nomor joint terakhir

inc = penambahan nomor joint

l = nomor kondisi pembebanan

f_x = gaya yang bekerja pada arah sumbu -X global

f_y = gaya yang bekerja pada arah sumbu -Y global

- f_z = gaya yang bekerja pada arah sumbu -Z global
 m_x = momen yang bekerja terhadap sumbu -X global
 m_y = momen yang bekerja terhadap sumbu -Y global
 m_z = momen yang bekerja terhadap sumbu -Z global

h. *Prestress*

Data blok ini digunakan untuk mendefinisikan beban, yang ditimbulkan oleh *prestressing cables* yang mempunyai geometri tertentu (parabola). Penambahan beban ini juga harus telah didefinisikan pada *data blok frame*, yaitu dengan memberi harga pengali beban *prestress* tidak sama dengan nol.

Bentuk penulisan tiap baris data mengikuti aturan sebagai berikut :

nb₁ nb₂ ninc D = d_i, d_c, d_j T = t

dimana :

- nb_1 = nomor elemen pertama
 nb_2 = nomor elemen terakhir
 $ninc$ = penambahan nomor elemen
 d_i = *draped cable* pada titik i
 d_c = *draped cable* pada center
 d_j = *draped cable* pada titik j
 t = gaya tarik pada *prestress*

i. *Spec*

Bagian data blok ini digunakan untuk mendefinisikan data yang berhubungan dengan analisa dinamis yaitu dengan memakai *response spectrum*. Dimana data blok ini hanya dapat digunakan apabila harga nfg atau nritz telah didefinisikan pada data blok system.

Bentuk penulisan tiap baris data ini adalah mengikuti aturan sebagai berikut :

$$A = a \quad S = s \quad D = d$$

$$tp \quad s_1 \quad s_2 \quad s_z$$

dimana :

a = sudut eksitasi, derajat

s = faktor skala *respon spectrum*

d = damping ratio struktur

tp = periode waktu

s_1 = harga *spectrum* pada tp untuk *spectrum* arah sumbu-1 lokal

s_2 = harga *spectrum* pada tp untuk *spectrum* arah sumbu-2 lokal

s_z = harga *spectrum* pada tp untuk *spectrum* arah sumbu -z lokal

j. Combo

Bagian data blok ini digunakan dalam mendefinisikan kombinasi pembebanan untuk perpindahan dan reaksi pada *joint* untuk gaya (atau tegangan) pada elemen. Kombinasi pembebanan didefinisikan sebagai kombinasi linear dari sejumlah nld kondisi pembebanan statis dan dapat dengan kondisi pembebanan dinamis *respon spectrum* yang ada.

Bentuk penulisan tiap baris data ini adalah mengikuti aturan sbb :

$$ncomb \quad C = xm_1, xm_2, xm_3, \dots, xm_i, \dots, xm_{nld} \quad D = xm_d$$

dimana:

$ncomb$ = nomor kombinasi pembebanan

xm_1 = pengali untuk kondisi pembebanan -1

xm_2 = pengali untuk kondisi pembebanan -2

xm_3 = pengali untuk kondisi pembebanan -3

xm_i = pengali untuk kondisi pembebanan -i

xm_{nld} = pengali untuk kondisi pembebanan -nld

xm_d = pengali untuk beban dinamis respon spektrum

6.7. PERHITUNGAN *INPUT* DATA STRUKTUR

Perhitungan data struktur utama yang diperlukan yaitu :

1. Momen Inersia massa
2. Titik berat massa

dihitung dalam bentuk tabel-tabel perhitungan yang dilampirkan pada tabel berikut. Sedangkan data *prestress* dimasukkan setelah diperoleh hasil perencanaan balok pratekan pada BAB V.

TABEL 6.1 PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN MOMEN INERSIA LANTAI 1

Elemen	M Kg dt ² /m	b	d	x	y	M x	M y	x'	y'	D ²	MM I _o	MMI
kolom 80x80	508.87	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	27.96	21.26	1233.73	54.28	627859.80
	508.87	0.80	0.80	8.00	0.00	4070.95	0.00	19.96	21.26	850.40	54.28	432793.64
	508.87	0.80	0.80	16.00	0.00	8141.90	0.00	11.96	21.26	595.06	54.28	302862.65
	508.87	0.80	0.80	24.00	0.00	12212.84	0.00	3.96	21.26	467.73	54.28	238066.83
	508.87	0.80	0.80	32.00	0.00	16283.79	0.00	-4.04	21.26	468.40	54.28	238406.18
	508.87	0.80	0.80	40.00	0.00	20354.74	0.00	-12.04	21.26	597.06	54.28	303880.69
	508.87	0.80	0.80	48.00	0.00	24425.69	0.00	-20.04	21.26	853.73	54.28	434490.38
	508.87	0.80	0.80	56.00	0.00	28496.64	0.00	-28.04	21.26	1238.40	54.28	630235.23
	508.87	0.80	0.80	0.00	6.50	0.00	3307.65	27.96	14.76	999.58	54.28	508707.05
	508.87	0.80	0.80	8.00	6.50	4070.95	3307.65	19.96	14.76	616.24	54.28	313640.89
	508.87	0.80	0.80	16.00	6.50	8141.90	3307.65	11.96	14.76	360.91	54.28	183709.90
	508.87	0.80	0.80	24.00	6.50	12212.84	3307.65	3.96	14.76	233.58	54.28	118914.08
	508.87	0.80	0.80	32.00	6.50	16283.79	3307.65	-4.04	14.76	234.24	54.28	119253.42
	508.87	0.80	0.80	40.00	6.50	20354.74	3307.65	-12.04	14.76	362.91	54.28	184727.94
	508.87	0.80	0.80	48.00	6.50	24425.69	3307.65	-20.04	14.76	619.58	54.28	315337.62
	508.87	0.80	0.80	56.00	6.50	28496.64	3307.65	-28.04	14.76	1004.24	54.28	511082.47
	508.87	0.80	0.80	0.00	11.50	0.00	5851.99	27.96	9.76	876.96	54.28	446311.02
	508.87	0.80	0.80	8.00	11.50	4070.95	5851.99	19.96	9.76	493.63	54.28	251244.86
	508.87	0.80	0.80	16.00	11.50	8141.90	5851.99	11.96	9.76	238.29	54.28	121313.87
	508.87	0.80	0.80	24.00	11.50	12212.84	5851.99	3.96	9.76	110.96	54.28	56518.05
	508.87	0.80	0.80	32.00	11.50	16283.79	5851.99	-4.04	9.76	111.63	54.28	56857.40
	508.87	0.80	0.80	40.00	11.50	20354.74	5851.99	-12.04	9.76	240.29	54.28	122331.91
	508.87	0.80	0.80	48.00	11.50	24425.69	5851.99	-20.04	9.76	496.96	54.28	252941.60
	508.87	0.80	0.80	56.00	11.50	28496.64	5851.99	-28.04	9.76	881.63	54.28	448686.45
	508.87	0.80	0.80	8.00	19.50	4070.95	9922.94	19.96	1.76	401.44	54.28	204333.55
	508.87	0.80	0.80	16.00	19.50	8141.90	9922.94	11.96	1.76	146.11	54.28	74402.56
	508.87	0.80	0.80	24.00	19.50	12212.84	9922.94	3.96	1.76	18.77	54.28	9606.74
	508.87	0.80	0.80	32.00	19.50	16283.79	9922.94	-4.04	1.76	19.44	54.28	9946.08
	508.87	0.80	0.80	40.00	19.50	20354.74	9922.94	-12.04	1.76	148.11	54.28	75420.60
	508.87	0.80	0.80	48.00	19.50	24425.69	9922.94	-20.04	1.76	404.77	54.28	206030.28
	508.87	0.80	0.80	8.00	24.50	4070.95	12467.28	19.96	-3.24	408.82	54.28	208090.43
	508.87	0.80	0.80	16.00	24.50	8141.90	12467.28	11.96	-3.24	153.49	54.28	78159.44
	508.87	0.80	0.80	24.00	24.50	12212.84	12467.28	3.96	-3.24	26.15	54.28	13363.62
	508.87	0.80	0.80	32.00	24.50	16283.79	12467.28	-4.04	-3.24	26.82	54.28	13702.96
	508.87	0.80	0.80	40.00	24.50	20354.74	12467.28	-12.04	-3.24	155.49	54.28	79177.48
	508.87	0.80	0.80	48.00	24.50	24425.69	12467.28	-20.04	-3.24	412.16	54.28	209787.16
	508.87	0.80	0.80	0.00	32.50	0.00	16538.23	27.96	-11.24	907.97	54.28	462089.92
	508.87	0.80	0.80	8.00	32.50	4070.95	16538.23	19.96	-11.24	524.63	54.28	267023.76
	508.87	0.80	0.80	16.00	32.50	8141.90	16538.23	11.96	-11.24	269.30	54.28	137092.77
	508.87	0.80	0.80	24.00	32.50	12212.84	16538.23	3.96	-11.24	141.97	54.28	72296.95
	508.87	0.80	0.80	32.00	32.50	16283.79	16538.23	-4.04	-11.24	142.63	54.28	72636.30
	508.87	0.80	0.80	40.00	32.50	20354.74	16538.23	-12.04	-11.24	271.30	54.28	138110.81
	508.87	0.80	0.80	48.00	32.50	24425.69	16538.23	-20.04	-11.24	527.97	54.28	268720.49
	508.87	0.80	0.80	56.00	32.50	28496.64	16538.23	-28.04	-11.24	912.63	54.28	464465.35
	508.87	0.80	0.80	0.00	37.50	0.00	19082.57	27.96	-16.24	1045.35	54.28	531999.70
	508.87	0.80	0.80	8.00	37.50	4070.95	19082.57	19.96	-16.24	662.02	54.28	336933.55
	508.87	0.80	0.80	16.00	37.50	8141.90	19082.57	11.96	-16.24	406.68	54.28	207002.56
	508.87	0.80	0.80	24.00	37.50	12212.84	19082.57	3.96	-16.24	279.35	54.28	142206.74
	508.87	0.80	0.80	32.00	37.50	16283.79	19082.57	-4.04	-16.24	280.02	54.28	142546.08
	508.87	0.80	0.80	40.00	37.50	20354.74	19082.57	-12.04	-16.24	408.68	54.28	208020.60
	508.87	0.80	0.80	48.00	37.50	24425.69	19082.57	-20.04	-16.24	665.35	54.28	338630.28
	508.87	0.80	0.80	56.00	37.50	28496.64	19082.57	-28.04	-16.24	1050.02	54.28	534375.13
	508.87	0.80	0.80	0.00	44.00	0.00	22390.21	27.96	-22.74	1298.70	54.28	660920.35
	508.87	0.80	0.80	8.00	44.00	4070.95	22390.21	19.96	-22.74	915.36	54.28	465854.19
	508.87	0.80	0.80	16.00	44.00	8141.90	22390.21	11.96	-22.74	660.03	54.28	335923.20
	508.87	0.80	0.80	24.00	44.00	12212.84	22390.21	3.96	-22.74	532.70	54.28	271127.38
	508.87	0.80	0.80	32.00	44.00	16283.79	22390.21	-4.04	-22.74	533.36	54.28	271466.72
	508.87	0.80	0.80	40.00	44.00	20354.74	22390.21	-12.04	-22.74	662.03	54.28	336941.24
	508.87	0.80	0.80	48.00	44.00	24425.69	22390.21	-20.04	-22.74	918.70	54.28	467550.92
	508.87	0.80	0.80	56.00	44.00	28496.64	22390.21	-28.04	-22.74	1303.37	54.28	663295.77

Lanjutan

pelat t = 12 cm	39344.34 11177.37 104918.25 11177.37 13114.78	12.00 4.00 32.00 4.00 4.00	44.00 37.50 44.00 37.50 44.00	6.00 14.00 32.00 50.00 54.00	22.00 25.25 22.00 18.75 22.00	236066.06 156483.18 3357383.89 558868.50 708198.17	865575.54 282228.59 2308201.43 209575.69 288525.18	21.96 13.96 -4.04 -22.04 -26.04	-0.74 -3.99 -0.74 2.51 -0.74	482.71 210.74 16.88 492.14 678.71	6819686.03 1324751.21 25879834.18 1324751.21 2133337.68	25811708.35 3680282.57 27650878.20 6825630.70 11034524.47
Balok Induk	4795.11 4795.11 4795.11 3425.08 3425.08 342.51 342.51 342.51 342.51 4795.11 4795.11 1669.72 1669.72 3767.58 3767.58 3767.58 3767.58 3767.58 3767.58 1669.72 1669.72	56.00 56.00 56.00 40.00 40.00 4.00 4.00 4.00 4.00 56.00 56.00 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50	0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 19.50 19.50 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 19.50 19.50	28.00 28.00 28.00 28.00 28.00 6.00 6.00 50.00 50.00 28.00 28.00 0.00 0.00 8.00 16.00 24.00 32.00 40.00 48.00 56.00 56.00	0.00 6.50 11.50 19.50 24.50 19.50 24.50 19.50 24.50 27.50 44.00 9.75 0.00 22.00 22.00 22.00 22.00 22.00 22.00 9.75 34.25	134263.00 134263.00 134263.00 95902.14 95902.14 2055.05 2055.05 17125.38 17125.38 0.00 134263.00 210984.71 0.00 57188.07 30140.67 60281.35 90422.02 120562.69 150703.36 180844.04 93504.59 93504.59	0.00 31168.20 55143.73 66788.99 66788.99 6678.90 8391.44 6678.90 8391.44 0.00 131865.44 210984.71 16279.82 57188.07 82886.85 82886.85 82886.85 82886.85 82886.85 82886.85 16279.82 57188.07	-0.04 -0.04 -0.04 -0.04 -0.04 21.96 21.96 -22.04 -22.04 -0.04 -0.04 -0.04 27.96 19.96 11.96 3.96 -4.04 -12.04 -20.04 -28.04 -28.04	21.26 14.76 9.76 1.76 -3.24 1.76 -3.24 1.76 -3.24 -11.24 -6.24 -22.74 11.51 -12.99 -0.74 -0.74 -0.74 -0.74 -0.74 11.51 -12.99	452.06 217.91 95.29 3.11 10.49 485.27 492.65 488.94 496.32 126.30 38.92 517.03 914.19 52944.19 52944.19 143.55 16.21 16.88 145.55 402.21 918.86 955.03	1253221.20 1253221.20 1253221.20 456748.22 456748.22 463.81 463.81 463.81 463.81 0.00 1253221.20 1253221.20 52944.19 52944.19 607915.39 607915.39 607915.39 607915.39 607915.39 607915.39 52944.19 52944.19	3420908.92 2298123.36 1710160.82 467384.42 492671.11 166673.01 169201.68 167929.25 170457.92 0.00 1439836.65 3732440.99 1579385.50 1639789.09 2110727.95 1148738.90 669000.60 671513.07 1156276.31 2123290.31 1587179.87 1647583.46
Balok Anak	528.44 1761.47 2466.06 2466.06 1761.47 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61	12.00 40.00 56.00 56.00 40.00 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30	0.30 0.30	6.00 36.00 28.00 28.00 20.00 4.00 12.00 20.00 28.00 36.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00	3.25 3.25 15.50 28.50 40.00 8.00 4.00 10.00 12.00 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50 19.50	3170.64 63412.84 69049.54 69049.54 35229.36 7750.46 23251.38 38752.29 54253.21 69754.13 85255.05 100755.96 18605.50 23376.15 18605.50 23376.15 26238.53 26238.53	1717.43 5724.77 38223.85 70282.57 70458.72 15500.92 7750.46 19376.15 23251.38 37783.49 37783.49 37783.49 18605.50 23376.15 18605.50 23376.15 26238.53 26238.53	21.96 -8.04 -0.04 -0.04 7.96 23.96 15.96 7.96 -0.04 -8.04 -16.04 -24.04 25.96 25.96 -26.04 -26.04 27.96 -28.04	18.01 18.01 5.76 -7.24 -18.74 13.26 17.26 11.26 9.26 1.76 1.76 1.76 1.76 1.76 1.76 1.76 1.76 1.76 1.76 1.76	806.59 389.09 33.20 52.39 414.46 749.87 552.63 190.16 85.78 67.77 260.44 581.11 676.94 684.32 681.27 688.66 782.21 786.88	6345.25 234875.60 644480.88 644480.88 234875.60 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37 1279.33 1279.33 1279.33 1279.33 2493.65 2493.65	432579.90 920246.23 726351.79 773688.48 964930.15 1765583.87 1383409.95 681075.47 478827.23 443932.88 817247.03 1438575.86 647165.20 654209.35 651300.99 658345.14 935407.96 940975.37
Shear Wall t = 30	954.13 954.13 954.13 954.13 1192.66 1192.66	4.00 4.00 4.00 4.00 0.30 0.30	0.30 0.30 0.30 0.30 5.00 5.00	2.00 2.00 54.00 54.00 0.00 56.00	19.50 24.50 19.50 24.50 22.00 22.00	1908.26 1908.26 51522.94 51522.94 0.00 66788.99	18605.50 23376.15 18605.50 23376.15 26238.53 26238.53	25.96 25.96 -26.04 -26.04 27.96 -28.04	1.76 -3.24 1.76 -3.24 -0.74 -0.74	676.94 684.32 681.27 688.66 782.21 786.88	1279.33 1279.33 1279.33 1279.33 2493.65 2493.65	647165.20 654209.35 651300.99 658345.14 935407.96 940975.37
Tangga	1448.00 1448.00	2.00 2.00	2.20 2.20	14.00 52.00	6.50 40.75	20272.00 75296.00	9412.00 59006.00	13.96 -24.04	14.76 -19.49	412.74 957.80	1066.69 1066.69	598718.65 1387954.48
TOTAL :	303388.97					8482246.08	6450570.91			52491954.66	137072249.09	

$$X_o = 27.96$$

$$Y_o = 21.26$$

$$MMI = MM I_o + M \cdot (X_o^2 + Y_o^2)$$

$$MMI = 137072249.09$$

LANTAI 1 X = 27.96 Y = 21.26 MASSES = 303388.97, 303388.97, 0, 0, 0, 137072249.09

TABEL 6.2 PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN MOMEN INERSIA LANTAI 3

Elemen	M Kg dt ² /m	b	d	x	y	M x	M y	x'	y'	D ²	MMI _o	MMI
kolom 80x80	548.01	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	28.15	21.31	1246.35	58.45	683074.93
	548.01	0.80	0.80	8.00	0.00	4384.10	0.00	20.15	21.31	860.00	58.45	471346.77
	548.01	0.80	0.80	16.00	0.00	8768.20	0.00	12.15	21.31	601.64	58.45	329764.18
	548.01	0.80	0.80	24.00	0.00	13152.29	0.00	4.15	21.31	471.28	58.45	258327.15
	548.01	0.80	0.80	32.00	0.00	17536.39	0.00	-3.85	21.31	468.93	58.45	257035.69
	548.01	0.80	0.80	40.00	0.00	21920.49	0.00	-11.85	21.31	594.57	58.45	325889.79
	548.01	0.80	0.80	48.00	0.00	26304.59	0.00	-19.85	21.31	848.21	58.45	464889.46
	548.01	0.80	0.80	56.00	0.00	30688.69	0.00	-27.85	21.31	1229.86	58.45	674034.69
	548.01	0.80	0.80	0.00	6.50	0.00	3562.08	28.15	14.81	1011.58	58.45	554418.20
	548.01	0.80	0.80	8.00	6.50	4384.10	3562.08	20.15	14.81	625.23	58.45	342690.04
	548.01	0.80	0.80	16.00	6.50	8768.20	3562.08	12.15	14.81	366.87	58.45	201107.45
	548.01	0.80	0.80	24.00	6.50	13152.29	3562.08	4.15	14.81	236.51	58.45	129670.42
	548.01	0.80	0.80	32.00	6.50	17536.39	3562.08	-3.85	14.81	234.16	58.45	128378.96
	548.01	0.80	0.80	40.00	6.50	21920.49	3562.08	-11.85	14.81	359.80	58.45	197233.06
	548.01	0.80	0.80	48.00	6.50	26304.59	3562.08	-19.85	14.81	613.44	58.45	336232.73
	548.01	0.80	0.80	56.00	6.50	30688.69	3562.08	-27.85	14.81	995.09	58.45	545377.96
	548.01	0.80	0.80	0.00	11.50	0.00	6302.14	28.15	9.81	888.49	58.45	486962.19
	548.01	0.80	0.80	8.00	11.50	4384.10	6302.14	20.15	9.81	502.13	58.45	275234.03
	548.01	0.80	0.80	16.00	11.50	8768.20	6302.14	12.15	9.81	243.78	58.45	133651.44
	548.01	0.80	0.80	24.00	11.50	13152.29	6302.14	4.15	9.81	113.42	58.45	62214.41
	548.01	0.80	0.80	32.00	11.50	17536.39	6302.14	-3.85	9.81	111.06	58.45	60922.94
	548.01	0.80	0.80	40.00	11.50	21920.49	6302.14	-11.85	9.81	236.71	58.45	129777.05
	548.01	0.80	0.80	48.00	11.50	26304.59	6302.14	-19.85	9.81	490.35	58.45	268776.71
	548.01	0.80	0.80	56.00	11.50	30688.69	6302.14	-27.85	9.81	871.99	58.45	477921.95
	548.01	0.80	0.80	8.00	19.50	4384.10	10686.24	20.15	1.81	409.19	58.45	224297.68
	548.01	0.80	0.80	16.00	19.50	8768.20	10686.24	12.15	1.81	150.83	58.45	82715.09
	548.01	0.80	0.80	24.00	19.50	13152.29	10686.24	4.15	1.81	20.47	58.45	11278.06
	548.01	0.80	0.80	32.00	19.50	17536.39	10686.24	-3.85	1.81	18.12	58.45	9986.60
	548.01	0.80	0.80	40.00	19.50	21920.49	10686.24	-11.85	1.81	143.76	58.45	78840.70
	548.01	0.80	0.80	48.00	19.50	26304.59	10686.24	-19.85	1.81	397.40	58.45	217840.37
	548.01	0.80	0.80	8.00	24.50	4384.10	13426.30	20.15	-3.19	416.09	58.45	228083.26
	548.01	0.80	0.80	16.00	24.50	8768.20	13426.30	12.15	-3.19	157.74	58.45	86500.67
	548.01	0.80	0.80	24.00	24.50	13152.29	13426.30	4.15	-3.19	27.38	58.45	15063.64
	548.01	0.80	0.80	32.00	24.50	17536.39	13426.30	-3.85	-3.19	25.02	58.45	13772.17
	548.01	0.80	0.80	40.00	24.50	21920.49	13426.30	-11.85	-3.19	150.67	58.45	82626.28
	548.01	0.80	0.80	48.00	24.50	26304.59	13426.30	-19.85	-3.19	404.31	58.45	221625.95
	548.01	0.80	0.80	0.00	32.50	0.00	17810.40	28.15	-11.19	917.50	58.45	502861.62
	548.01	0.80	0.80	8.00	32.50	4384.10	17810.40	20.15	-11.19	531.15	58.45	291133.46
	548.01	0.80	0.80	16.00	32.50	8768.20	17810.40	12.15	-11.19	272.79	58.45	149550.86
	548.01	0.80	0.80	24.00	32.50	13152.29	17810.40	4.15	-11.19	142.43	58.45	78113.84
	548.01	0.80	0.80	32.00	32.50	17536.39	17810.40	-3.85	-11.19	140.08	58.45	76822.37
	548.01	0.80	0.80	40.00	32.50	21920.49	17810.40	-11.85	-11.19	265.72	58.45	145676.47
	548.01	0.80	0.80	48.00	32.50	26304.59	17810.40	-19.85	-11.19	519.36	58.45	284676.14
	548.01	0.80	0.80	56.00	32.50	30688.69	17810.40	-27.85	-11.19	901.01	58.45	493821.38
	548.01	0.80	0.80	0.00	37.50	0.00	20550.46	28.15	-16.19	1054.41	58.45	577888.79
	548.01	0.80	0.80	8.00	37.50	4384.10	20550.46	20.15	-16.19	668.05	58.45	366160.63
	548.01	0.80	0.80	16.00	37.50	8768.20	20550.46	12.15	-16.19	409.70	58.45	224578.03
	548.01	0.80	0.80	24.00	37.50	13152.29	20550.46	4.15	-16.19	279.34	58.45	153141.00
	548.01	0.80	0.80	32.00	37.50	17536.39	20550.46	-3.85	-16.19	276.98	58.45	151849.54
	548.01	0.80	0.80	40.00	37.50	21920.49	20550.46	-11.85	-16.19	402.63	58.45	220703.64
	548.01	0.80	0.80	48.00	37.50	26304.59	20550.46	-19.85	-16.19	656.27	58.45	359703.31
	548.01	0.80	0.80	56.00	37.50	30688.69	20550.46	-27.85	-16.19	1037.91	58.45	568848.55
	548.01	0.80	0.80	0.00	44.00	0.00	24112.54	28.15	-22.69	1307.14	58.45	716388.02
	548.01	0.80	0.80	8.00	44.00	4384.10	24112.54	20.15	-22.69	920.78	58.45	504659.86
	548.01	0.80	0.80	16.00	44.00	8768.20	24112.54	12.15	-22.69	662.43	58.45	363077.27
	548.01	0.80	0.80	24.00	44.00	13152.29	24112.54	4.15	-22.69	532.07	58.45	291640.24
	548.01	0.80	0.80	32.00	44.00	17536.39	24112.54	-3.85	-22.69	529.72	58.45	290348.77
	548.01	0.80	0.80	40.00	44.00	21920.49	24112.54	-11.85	-22.69	655.36	58.45	359202.88
	548.01	0.80	0.80	48.00	44.00	26304.59	24112.54	-19.85	-22.69	909.00	58.45	498202.55
	548.01	0.80	0.80	56.00	44.00	30688.69	24112.54	-27.85	-22.69	1290.65	58.45	707347.78

pelat t = 12 cm	39344.34	12.00	44.00	6.00	22.00	236066.06	865575.54	22.15	-0.69	490.98	6819686.03	26136956.11	
	11177.37	4.00	37.50	14.00	25.25	156483.18	282228.59	14.15	-3.94	215.68	1324751.21	3735436.91	
	104918.25	32.00	44.00	32.00	22.00	3357383.89	2308201.43	-3.85	-0.69	15.32	25879834.18	27487240.50	
	11177.37	4.00	37.50	50.00	18.75	558868.50	209575.69	-21.85	2.56	484.09	1324751.21	6735610.37	
	13114.78	4.00	44.00	54.00	22.00	708198.17	288525.18	-25.85	-0.69	668.84	2133337.68	10905025.38	
Balok Induk	4795.11	56.00	0.50	28.00	0.00	134263.00	0.00	0.15	21.31	454.10	1253221.20	3430700.41	
	4795.11	56.00	0.50	28.00	6.50	134263.00	31168.20	0.15	14.81	219.33	1253221.20	2304954.02	
	4795.11	56.00	0.50	28.00	11.50	134263.00	55143.73	0.15	9.81	96.24	1253221.20	1714713.92	
	3425.08	40.00	0.50	28.00	19.50	95902.14	66788.99	0.15	1.81	3.29	456748.22	468033.70	
	3425.08	40.00	0.50	28.00	24.50	95902.14	83914.37	0.15	-3.19	10.20	456748.22	491693.56	
	342.51	4.00	0.50	6.00	19.50	2055.05	6678.90	22.15	1.81	493.78	463.81	169585.76	
	342.51	4.00	0.50	6.00	24.50	2055.05	8391.44	22.15	-3.19	500.68	463.81	171951.75	
	342.51	4.00	0.50	50.00	19.50	17125.38	6678.90	-21.85	1.81	480.81	463.81	165146.36	
	342.51	4.00	0.50	50.00	24.50	17125.38	8391.44	-21.85	-3.19	487.72	463.81	167512.35	
		56.00	0.50	28.00	32.50	0.00	0.00	0.15	-11.19	125.26	0.00	0.00	
	4795.11	56.00	0.50	28.00	27.50	134263.00	131865.44	0.15	-6.19	38.35	1253221.20	1437101.55	
	4795.11	56.00	0.50	28.00	44.00	134263.00	210984.71	0.15	-22.69	514.89	1253221.20	3722189.94	
	1669.72	0.50	19.50	0.00	9.75	0.00	16279.82	28.15	11.56	925.89	52944.19	1598917.96	
	1669.72	0.50	19.50	0.00	34.25	0.00	57188.07	28.15	-12.94	959.73	52944.19	1655435.46	
	3767.58	0.50	44.00	8.00	22.00	30140.67	82886.85	20.15	-0.69	406.39	607915.39	2139025.61	
	3767.58	0.50	44.00	16.00	22.00	60281.35	82886.85	12.15	-0.69	148.03	607915.39	1165645.27	
	3767.58	0.50	44.00	24.00	22.00	90422.02	82886.85	4.15	-0.69	17.68	607915.39	674515.70	
	3767.58	0.50	44.00	32.00	22.00	120562.69	82886.85	-3.85	-0.69	15.32	607915.39	665636.89	
	3767.58	0.50	44.00	40.00	22.00	150703.36	82886.85	-11.85	-0.69	140.96	607915.39	1139008.85	
	3767.58	0.50	44.00	48.00	22.00	180844.04	82886.85	-19.85	-0.69	394.61	607915.39	2094631.57	
1669.72	0.50	19.50	56.00	9.75	93504.59	16279.82	-27.85	11.56	909.39	52944.19	1571373.48		
1669.72	0.50	19.50	56.00	34.25	93504.59	57188.07	-27.85	-12.94	943.24	52944.19	1627890.98		
Balok Anak	528.44	12.00	0.30	6.00	3.25	3170.64	1717.43	22.15	18.06	816.64	6345.25	437889.59	
	1761.47												

$$MMI = MMI_0 + M \cdot (X_0^2 + Y_0^2)$$

$$MMI = 151862898.57$$

LANTAI 3 X=28.15 Y=21.31 MASSES = 311726.58, 311726.58, 0, 0, 0, 151862898.57

TABEL 6.3. PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN MOMEN INERSIA LANTAI 2,9,10

Elemen	M Kg dt ² /m	b	d	x	y	M x	M y	x'	y'	D ²	MMI _o	MMI
kolom 80x80	548.01	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	27.96	21.27	1233.99	58.45	676298.70
	548.01	0.80	0.80	8.00	0.00	4384.10	0.00	19.96	21.27	850.65	58.45	466224.64
	548.01	0.80	0.80	16.00	0.00	8768.20	0.00	11.96	21.27	595.31	58.45	326296.16
	548.01	0.80	0.80	24.00	0.00	13152.29	0.00	3.96	21.27	467.97	58.45	256513.23
	548.01	0.80	0.80	32.00	0.00	17536.39	0.00	-4.04	21.27	468.63	58.45	256875.88
	548.01	0.80	0.80	40.00	0.00	21920.49	0.00	-12.04	21.27	597.30	58.45	327384.08
	548.01	0.80	0.80	48.00	0.00	26304.59	0.00	-20.04	21.27	853.96	58.45	468037.86
	548.01	0.80	0.80	56.00	0.00	30688.69	0.00	-28.04	21.27	1238.62	58.45	678837.20
	548.01	0.80	0.80	0.00	6.50	0.00	3562.08	27.96	14.77	999.76	58.45	547939.94
	548.01	0.80	0.80	8.00	6.50	4384.10	3562.08	19.96	14.77	616.42	58.45	337865.89
	548.01	0.80	0.80	16.00	6.50	8768.20	3562.08	11.96	14.77	361.08	58.45	197937.40
	548.01	0.80	0.80	24.00	6.50	13152.29	3562.08	3.96	14.77	233.75	58.45	128154.48
	548.01	0.80	0.80	32.00	6.50	17536.39	3562.08	-4.04	14.77	234.41	58.45	128517.12
	548.01	0.80	0.80	40.00	6.50	21920.49	3562.08	-12.04	14.77	363.07	58.45	199025.33
	548.01	0.80	0.80	48.00	6.50	26304.59	3562.08	-20.04	14.77	619.73	58.45	339679.11
	548.01	0.80	0.80	56.00	6.50	30688.69	3562.08	-28.04	14.77	1004.39	58.45	550478.45
	548.01	0.80	0.80	0.00	11.50	0.00	6302.14	27.96	9.77	877.09	58.45	480713.15
	548.01	0.80	0.80	8.00	11.50	4384.10	6302.14	19.96	9.77	493.75	58.45	270639.09
	548.01	0.80	0.80	16.00	11.50	8768.20	6302.14	11.96	9.77	238.41	58.45	130710.60
	548.01	0.80	0.80	24.00	11.50	13152.29	6302.14	3.96	9.77	111.07	58.45	60927.68
	548.01	0.80	0.80	32.00	11.50	17536.39	6302.14	-4.04	9.77	111.73	58.45	61290.32
	548.01	0.80	0.80	40.00	11.50	21920.49	6302.14	-12.04	9.77	240.40	58.45	131798.53
	548.01	0.80	0.80	48.00	11.50	26304.59	6302.14	-20.04	9.77	497.06	58.45	272452.31
	548.01	0.80	0.80	56.00	11.50	30688.69	6302.14	-28.04	9.77	881.72	58.45	483251.65
	548.01	0.80	0.80	8.00	19.50	4384.10	10686.24	19.96	1.77	401.47	58.45	220069.49
	548.01	0.80	0.80	16.00	19.50	8768.20	10686.24	11.96	1.77	146.13	58.45	80141.00
	548.01	0.80	0.80	24.00	19.50	13152.29	10686.24	3.96	1.77	18.79	58.45	10358.07
	548.01	0.80	0.80	32.00	19.50	17536.39	10686.24	-4.04	1.77	19.46	58.45	10720.72
	548.01	0.80	0.80	40.00	19.50	21920.49	10686.24	-12.04	1.77	148.12	58.45	81228.93
	548.01	0.80	0.80	48.00	19.50	26304.59	10686.24	-20.04	1.77	404.78	58.45	221882.70
	548.01	0.80	0.80	8.00	24.50	4384.10	13426.30	19.96	-3.23	408.80	58.45	224084.28
	548.01	0.80	0.80	16.00	24.50	8768.20	13426.30	11.96	-3.23	153.46	58.45	84155.79
	548.01	0.80	0.80	24.00	24.50	13152.29	13426.30	3.96	-3.23	26.12	58.45	14372.87
	548.01	0.80	0.80	32.00	24.50	17536.39	13426.30	-4.04	-3.23	26.78	58.45	14735.51
	548.01	0.80	0.80	40.00	24.50	21920.49	13426.30	-12.04	-3.23	155.44	58.45	85243.72
	548.01	0.80	0.80	48.00	24.50	26304.59	13426.30	-20.04	-3.23	412.11	58.45	225897.49
	548.01	0.80	0.80	0.00	32.50	0.00	17810.40	27.96	-11.23	907.86	58.45	497575.27
	548.01	0.80	0.80	8.00	32.50	4384.10	17810.40	19.96	-11.23	524.52	58.45	287501.22
	548.01	0.80	0.80	16.00	32.50	8768.20	17810.40	11.96	-11.23	269.18	58.45	147572.73
	548.01	0.80	0.80	24.00	32.50	13152.29	17810.40	3.96	-11.23	141.84	58.45	77789.80
	548.01	0.80	0.80	32.00	32.50	17536.39	17810.40	-4.04	-11.23	142.50	58.45	78152.45
	548.01	0.80	0.80	40.00	32.50	21920.49	17810.40	-12.04	-11.23	271.17	58.45	148660.66
	548.01	0.80	0.80	48.00	32.50	26304.59	17810.40	-20.04	-11.23	527.83	58.45	289314.43
	548.01	0.80	0.80	56.00	32.50	30688.69	17810.40	-28.04	-11.23	912.49	58.45	500113.77
	548.01	0.80	0.80	0.00	37.50	0.00	20550.46	27.96	-16.23	1045.18	58.45	572831.65
	548.01	0.80	0.80	8.00	37.50	4384.10	20550.46	19.96	-16.23	661.84	58.45	362757.60
	548.01	0.80	0.80	16.00	37.50	8768.20	20550.46	11.96	-16.23	406.51	58.45	222829.11
	548.01	0.80	0.80	24.00	37.50	13152.29	20550.46	3.96	-16.23	279.17	58.45	153046.19
	548.01	0.80	0.80	32.00	37.50	17536.39	20550.46	-4.04	-16.23	279.83	58.45	153408.83
	548.01	0.80	0.80	40.00	37.50	21920.49	20550.46	-12.04	-16.23	408.49	58.45	223917.04
	548.01	0.80	0.80	48.00	37.50	26304.59	20550.46	-20.04	-16.23	665.15	58.45	364570.81
	548.01	0.80	0.80	56.00	37.50	30688.69	20550.46	-28.04	-16.23	1049.82	58.45	575370.15
	548.01	0.80	0.80	0.00	44.00	0.00	24112.54	27.96	-22.73	1298.46	58.45	711628.86
	548.01	0.80	0.80	8.00	44.00	4384.10	24112.54	19.96	-22.73	915.12	58.45	501554.81
	548.01	0.80	0.80	16.00	44.00	8768.20	24112.54	11.96	-22.73	659.78	58.45	361626.32
	548.01	0.80	0.80	24.00	44.00	13152.29	24112.54	3.96	-22.73	532.44	58.45	291843.40
	548.01	0.80	0.80	32.00	44.00	17536.39	24112.54	-4.04	-22.73	533.10	58.45	292206.04
	548.01	0.80	0.80	40.00	44.00	21920.49	24112.54	-12.04	-22.73	661.77	58.45	362714.25
	548.01	0.80	0.80	48.00	44.00	26304.59	24112.54	-20.04	-22.73	918.43	58.45	503368.02
	548.01	0.80	0.80	56.00	44.00	30688.69	24112.54	-28.04	-22.73	1303.09	58.45	714167.36

Lanjutan

pelat t = 12 cm	39344.34	12.00	44.00	6.00	22.00	236066.06	865575.54	21.96	-0.73	482.72	6819686.03	25811933.36
	11177.37	4.00	37.50	14.00	25.25	156483.18	282228.59	13.96	-3.98	210.70	1324751.21	3679877.19
	104918.25	32.00	44.00	32.00	22.00	3357383.89	2308201.43	-4.04	-0.73	16.87	25879834.18	27649731.46
	11177.37	4.00	37.50	50.00	18.75	558868.50	209575.69	-22.04	2.52	492.16	1324751.21	6825791.74
	13114.78	4.00	44.00	54.00	22.00	708198.17	288525.18	-26.04	-0.73	678.69	2133337.68	11034196.37
Balok Induk	4795.11	56.00	0.50	28.00	0.00	134263.00	0.00	-0.04	21.27	452.30	1253221.20	3422065.36
	4795.11	56.00	0.50	28.00	6.50	134263.00	31168.20	-0.04	14.77	218.08	1253221.20	2298926.27
	4795.11	56.00	0.50	28.00	11.50	134263.00	55143.73	-0.04	9.77	95.40	1253221.20	1710691.78
	3425.08	40.00	0.50	28.00	19.50	95902.14	66788.99	-0.04	1.77	3.13	456748.22	467452.88
	3425.08	40.00	0.50	28.00	24.50	95902.14	83914.37	-0.04	-3.23	10.45	456748.22	492545.32
	342.51	4.00	0.50	6.00	19.50	2055.05	6678.90	21.96	1.77	485.31	463.81	166684.69
	342.51	4.00	0.50	6.00	24.50	2055.05	8391.44	21.96	-3.23	492.63	463.81	169193.93
	342.51	4.00	0.50	50.00	19.50	17125.38	6678.90	-22.04	1.77	488.95	463.81	167931.27
	342.51	4.00	0.50	50.00	24.50	17125.38	8391.44	-22.04	-3.23	496.27	463.81	170440.52
		56.00	0.50	28.00	32.50	0.00	0.00	-0.04	-11.23	126.17	0.00	0.00
	4795.11	56.00	0.50	28.00	27.50	134263.00	131865.44	-0.04	-6.23	38.85	1253221.20	1439497.38
	4795.11	56.00	0.50	28.00	44.00	134263.00	210984.71	-0.04	-22.73	516.77	1253221.20	3731204.29
	1669.72	0.50	19.50	0.00	9.75	0.00	16279.82	27.96	11.52	914.34	52944.19	1579633.47
	1669.72	0.50	19.50	0.00	34.25	0.00	57188.07	27.96	-12.98	950.23	52944.19	1639573.05
	3767.58	0.50	44.00	8.00	22.00	30140.67	82886.85	19.96	-0.73	398.88	607915.39	2110744.68
	3767.58	0.50	44.00	16.00	22.00	60281.35	82886.85	11.96	-0.73	143.55	607915.39	1148736.32
	3767.58	0.50	44.00	24.00	22.00	90422.02	82886.85	3.96	-0.73	16.21	607915.39	668978.72
	3767.58	0.50	44.00	32.00	22.00	120562.69	82886.85	-4.04	-0.73	16.87	607915.39	671471.90
	3767.58	0.50	44.00	40.00	22.00	150703.36	82886.85	-12.04	-0.73	145.53	607915.39	1156215.83
	3767.58	0.50	44.00	48.00	22.00	180844.04	82886.85	-20.04	-0.73	402.19	607915.39	2123210.53
	1669.72	0.50	19.50	56.00	9.75	93504.59	16279.82	-28.04	11.52	918.97	52944.19	1587367.97
	1669.72	0.50	19.50	56.00	34.25	93504.59	57188.07	-28.04	-12.98	954.87	52944.19	1647307.55
Balok Anak	528.44	12.00	0.30	6.00	3.25	3170.64	1717.43	21.96	18.02	806.81	6345.25	432695.30
	1761.47	40.00	0.30	36.00	3.25	63412.84	5724.77	-8.04	18.02	389.29	234875.60	920597.08
	2466.06	56.00	0.30	28.00	15.50	69049.54	38223.85	-0.04	5.77	33.26	644480.88	726512.97
	2466.06	56.00	0.30	28.00	28.50	69049.54	70282.57	-0.04	-7.23	52.31	644480.88	773486.03
	1761.47	40.00	0.30	20.00	40.00	35229.36	70458.72	7.96	-18.73	414.25	234875.60	964564.79
	1937.61	0.30	44.00	4.00	8.00	7750.46	15500.92	23.96	13.27	750.04	312616.37	1765905.12
	1937.61	0.30	44.00	12.00	4.00	23251.38	7750.46	15.96	17.27	552.84	312616.37	1383809.18
	1937.61	0.30	44.00	20.00	10.00	38752.29	19376.15	7.96	11.27	190.29	312616.37	681332.91
	1937.61	0.30	44.00	28.00	12.00	54253.21	23251.38	-0.04	9.27	85.89	312616.37	479030.79
	1937.61	0.30	44.00	36.00	19.50	69754.13	37783.49	-8.04	1.77	67.79	312616.37	443961.69
	1937.61	0.30	44.00	44.00	19.50	85255.05	37783.49	-16.04	1.77	260.45	312616.37	817265.91
	1937.61	0.30	44.00	52.00	19.50	100755.96	37783.49	-24.04	1.77	581.11	312616.37	1438584.81
Shear Wall t = 30	954.13	4.00	0.30	2.00	19.50	1908.26	18605.50	25.96	1.77	676.97	1279.33	647200.16
	954.13	4.00	0.30	2.00	24.50	1908.26	23376.15	25.96	-3.23	684.30	1279.33	654190.19
	954.13	4.00	0.30	54.00	19.50	51522.94	18605.50	-26.04	1.77	681.28	1279.33	651304.17
	954.13	4.00	0.30	54.00	24.50	51522.94	23376.15	-26.04	-3.23	688.60	1279.33	658294.21
	1192.66	0.30	5.00	0.00	22.00	0.00	26238.53	27.96	-0.73	782.22	2493.65	935419.37
	1192.66	0.30	5.00	56.00	22.00	66788.99	26238.53	-28.04	-0.73	786.85	2493.65	940944.01
Tangga	1448.00	2.00	2.20	14.00	6.50	20272.00	9412.00	13.96	14.77	412.92	1066.69	598974.09
	1448.00	2.00	2.20	52.00	40.75	75296.00	59006.00	-24.04	-19.48	957.56	1066.69	1387612.16

TOTAL : 305737.59 8548007.55 6502240.63 52492205.18 138318348.88

$X_o = 27.96$ $MMI = MM I_o + M \cdot (X_o^2 + Y_o^2)$
 $Y_o = 21.27$ $MMI = 138318348.88$

LANTAI 2,9,10 X = 27.96 Y = 21.27 MASSES = 305737.59, 305737.59, 0, 0, 0, 138318348.88

TABEL 6.4. PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN MOMEN INERSIA LANTAI 4 - 8

Elemen	M Kg dt ² /m	b	d	x	y	M x	M y	x'	y'	D ²	MM Io	MMI
kolom 80x80	548.01	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	28.33	21.35	1258.69	58.45	689835.93
	548.01	0.80	0.80	8.00	0.00	4384.10	0.00	20.33	21.35	869.34	58.45	476467.25
	548.01	0.80	0.80	16.00	0.00	8768.20	0.00	12.33	21.35	607.99	58.45	333244.14
	548.01	0.80	0.80	24.00	0.00	13152.29	0.00	4.33	21.35	474.64	58.45	260166.59
	548.01	0.80	0.80	32.00	0.00	17536.39	0.00	-3.67	21.35	469.29	58.45	257234.60
	548.01	0.80	0.80	40.00	0.00	21920.49	0.00	-11.67	21.35	591.94	58.45	324448.18
	548.01	0.80	0.80	48.00	0.00	26304.59	0.00	-19.67	21.35	842.59	58.45	461807.33
	548.01	0.80	0.80	56.00	0.00	30688.69	0.00	-27.67	21.35	1221.24	58.45	669312.04
	548.01	0.80	0.80	0.00	6.50	0.00	3562.08	28.33	14.85	1023.38	58.45	560883.67
	548.01	0.80	0.80	8.00	6.50	4384.10	3562.08	20.33	14.85	634.03	58.45	347514.99
	548.01	0.80	0.80	16.00	6.50	8768.20	3562.08	12.33	14.85	372.68	58.45	204291.88
	548.01	0.80	0.80	24.00	6.50	13152.29	3562.08	4.33	14.85	239.33	58.45	131214.33
	548.01	0.80	0.80	32.00	6.50	17536.39	3562.08	-3.67	14.85	233.98	58.45	128282.34
	548.01	0.80	0.80	40.00	6.50	21920.49	3562.08	-11.67	14.85	356.63	58.45	195495.92
	548.01	0.80	0.80	48.00	6.50	26304.59	3562.08	-19.67	14.85	607.28	58.45	332855.07
	548.01	0.80	0.80	56.00	6.50	30688.69	3562.08	-27.67	14.85	985.93	58.45	540359.78
	548.01	0.80	0.80	0.00	11.50	0.00	6302.14	28.33	9.85	899.87	58.45	493200.33
	548.01	0.80	0.80	8.00	11.50	4384.10	6302.14	20.33	9.85	510.52	58.45	279831.65
	548.01	0.80	0.80	16.00	11.50	8768.20	6302.14	12.33	9.85	249.17	58.45	136608.53
	548.01	0.80	0.80	24.00	11.50	13152.29	6302.14	4.33	9.85	115.82	58.45	63530.98
	548.01	0.80	0.80	32.00	11.50	17536.39	6302.14	-3.67	9.85	110.47	58.45	60599.00
	548.01	0.80	0.80	40.00	11.50	21920.49	6302.14	-11.67	9.85	233.12	58.45	127812.58
	548.01	0.80	0.80	48.00	11.50	26304.59	6302.14	-19.67	9.85	483.77	58.45	265171.73
	548.01	0.80	0.80	56.00	11.50	30688.69	6302.14	-27.67	9.85	862.42	58.45	472676.44
	548.01	0.80	0.80	8.00	19.50	4384.10	10686.24	20.33	1.85	416.91	58.45	228531.57
	548.01	0.80	0.80	16.00	19.50	8768.20	10686.24	12.33	1.85	155.56	58.45	85308.46
	548.01	0.80	0.80	24.00	19.50	13152.29	10686.24	4.33	1.85	22.21	58.45	12230.91
	548.01	0.80	0.80	32.00	19.50	17536.39	10686.24	-3.67	1.85	16.86	58.45	9298.92
	548.01	0.80	0.80	40.00	19.50	21920.49	10686.24	-11.67	1.85	139.51	58.45	76512.51
	548.01	0.80	0.80	48.00	19.50	26304.59	10686.24	-19.67	1.85	390.16	58.45	213871.65
	548.01	0.80	0.80	8.00	24.50	4384.10	13426.30	20.33	-3.15	423.41	58.45	232089.82
	548.01	0.80	0.80	16.00	24.50	8768.20	13426.30	12.33	-3.15	162.06	58.45	88866.71
	548.01	0.80	0.80	24.00	24.50	13152.29	13426.30	4.33	-3.15	28.71	58.45	15789.16
	548.01	0.80	0.80	32.00	24.50	17536.39	13426.30	-3.67	-3.15	23.35	58.45	12857.17
	548.01	0.80	0.80	40.00	24.50	21920.49	13426.30	-11.67	-3.15	146.00	58.45	80070.75
	548.01	0.80	0.80	48.00	24.50	26304.59	13426.30	-19.67	-3.15	396.65	58.45	217429.90
	548.01	0.80	0.80	0.00	32.50	0.00	17810.40	28.33	-11.15	927.14	58.45	508144.97
	548.01	0.80	0.80	8.00	32.50	4384.10	17810.40	20.33	-11.15	537.79	58.45	294776.29
	548.01	0.80	0.80	16.00	32.50	8768.20	17810.40	12.33	-11.15	276.44	58.45	151553.18
	548.01	0.80	0.80	24.00	32.50	13152.29	17810.40	4.33	-11.15	143.09	58.45	78475.63
	548.01	0.80	0.80	32.00	32.50	17536.39	17810.40	-3.67	-11.15	137.74	58.45	75543.64
	548.01	0.80	0.80	40.00	32.50	21920.49	17810.40	-11.67	-11.15	260.39	58.45	142757.22
	548.01	0.80	0.80	48.00	32.50	26304.59	17810.40	-19.67	-11.15	511.04	58.45	280116.37
	548.01	0.80	0.80	56.00	32.50	30688.69	17810.40	-27.67	-11.15	889.69	58.45	487621.08
	548.01	0.80	0.80	0.00	37.50	0.00	20550.46	28.33	-16.15	1063.64	58.45	582944.81
	548.01	0.80	0.80	8.00	37.50	4384.10	20550.46	20.33	-16.15	674.29	58.45	369576.13
	548.01	0.80	0.80	16.00	37.50	8768.20	20550.46	12.33	-16.15	412.94	58.45	226353.01
	548.01	0.80	0.80	24.00	37.50	13152.29	20550.46	4.33	-16.15	279.59	58.45	153275.46
	548.01	0.80	0.80	32.00	37.50	17536.39	20550.46	-3.67	-16.15	274.24	58.45	150343.48
	548.01	0.80	0.80	40.00	37.50	21920.49	20550.46	-11.67	-16.15	396.89	58.45	217557.06
	548.01	0.80	0.80	48.00	37.50	26304.59	20550.46	-19.67	-16.15	647.54	58.45	354916.21
	548.01	0.80	0.80	56.00	37.50	30688.69	20550.46	-27.67	-16.15	1026.19	58.45	562420.92
	548.01	0.80	0.80	0.00	44.00	0.00	24112.54	28.33	-22.65	1315.83	58.45	721148.51
	548.01	0.80	0.80	8.00	44.00	4384.10	24112.54	20.33	-22.65	926.48	58.45	507779.83
	548.01	0.80	0.80	16.00	44.00	8768.20	24112.54	12.33	-22.65	665.13	58.45	364556.72
	548.01	0.80	0.80	24.00	44.00	13152.29	24112.54	4.33	-22.65	531.78	58.45	291479.17
	548.01	0.80	0.80	32.00	44.00	17536.39	24112.54	-3.67	-22.65	526.43	58.45	288547.18
	548.01	0.80	0.80	40.00	44.00	21920.49	24112.54	-11.67	-22.65	649.08	58.45	355760.76
	548.01	0.80	0.80	48.00	44.00	26304.59	24112.54	-19.67	-22.65	899.73	58.45	493119.91
	548.01	0.80	0.80	56.00	44.00	30688.69	24112.54	-27.67	-22.65	1278.38	58.45	700624.62

Lanjutan

pelat t = 12 cm	39344.34 11177.37 104918.25 11177.37 13114.78	12.00 4.00 32.00 4.00 4.00	44.00 37.50 44.00 37.50 44.00	6.00 14.00 32.00 50.00 54.00	22.00 25.25 22.00 18.75 22.00	236066.06 156483.18 3357383.89 558868.50 708198.17	865575.54 282228.59 2308201.43 209575.69 288525.18	22.33 14.33 -3.67 -21.67 -25.67	-0.65 -3.90 -0.65 2.60 -0.65	499.25 220.68 13.86 476.16 659.15	6819686.03 1324751.21 25879834.18 1324751.21 2133337.68	26462211.49 3791364.76 27333822.58 6646994.05 10777882.54
Balok Induk	4795.11 4795.11 4795.11 3425.08 3425.08 342.51 342.51 342.51 342.51 4795.11 4795.11 1669.72 1669.72 3767.58 3767.58 3767.58 3767.58 3767.58 3767.58 1669.72 1669.72	56.00 56.00 56.00 40.00 40.00 4.00 4.00 4.00 4.00 56.00 56.00 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50	0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 19.50 19.50 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 19.50 19.50	28.00 28.00 28.00 28.00 28.00 6.00 6.00 50.00 50.00 28.00 28.00 0.00 0.00 8.00 16.00 24.00 32.00 40.00 48.00 56.00 56.00	0.00 6.50 11.50 19.50 24.50 19.50 2055.05 2055.05 17125.38 17125.38 0.00 0.00 9.75 34.25 22.00 22.00 22.00 22.00 22.00 9.75 34.25	134263.00 134263.00 134263.00 95902.14 95902.14 2055.05 2055.05 17125.38 17125.38 131865.44 210984.71 0.00 0.00 30140.67 60281.35 90422.02 120562.69 150703.36 180844.04 93504.59 93504.59	0.00 31168.20 55143.73 66788.99 83914.37 6678.90 8391.44 6678.90 8391.44 0.00 0.00 16279.82 57188.07 82886.85 82886.85 82886.85 82886.85 82886.85 82886.85 16279.82 57188.07	0.33 0.33 0.33 0.33 0.33 22.33 22.33 -21.67 -21.67 0.33 0.33 28.33 28.33 20.33 12.33 4.33 -3.67 -11.67 -19.67 -27.67 -27.67	-21.35 14.85 9.85 1.85 -3.15 1.85 -3.15 1.85 -3.15 -11.15 -6.15 -22.65 11.60 -12.90 -0.65 -0.65 -0.65 -0.65 -0.65 11.60 -12.90	455.96 220.66 97.15 3.54 10.03 502.25 508.74 472.82 479.32 124.42 37.93 513.10 937.41 969.23 413.91 152.56 19.21 13.86 136.51 387.16 899.96 931.78	1253221.20 1253221.20 1253221.20 456748.22 456748.22 463.81 463.81 463.81 0.00 1253221.20 1253221.20 52944.19 52944.19 52944.19 607915.39 607915.39 607915.39 607915.39 607915.39 52944.19 52944.19	3439618.22 2311285.94 1719056.70 468862.38 491101.43 172488.28 174712.18 162409.58 164633.49 0.00 1435079.07 3713603.29 1618167.23 1671290.75 2167352.17 1182693.25 680285.09 660127.70 1122221.07 2066565.21 1555633.50 1608757.02
Balok Anak	528.44 1761.47 2466.06 2466.06 1761.47 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61 1937.61	12.00 40.00 56.00 56.00 40.00 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.30	0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00 44.00	6.00 36.00 28.00 28.00 20.00 4.00 12.00 20.00 28.00 36.00 44.00 52.00	3.25 3.25 15.50 28.50 40.00 8.00 4.00 10.00 12.00 19.50 19.50 19.50	3170.64 63412.84 69049.54 69049.54 35229.36 7750.46 23251.38 38752.29 54253.21 69754.13 85255.05 100755.96	1717.43 5724.77 38223.85 70282.57 70458.72 15500.92 7750.46 19376.15 23251.38 37783.49 37783.49 37783.49	22.33 -7.67 0.33 0.33 8.33 24.33 16.33 8.33 0.33 -7.67 -15.67 -23.67	18.10 18.10 5.85 -7.15 -18.65 13.35 17.35 11.35 9.35 1.85 1.85 1.85	826.46 386.40 34.34 51.22 417.26 770.40 567.86 198.30 87.55 62.19 248.84 563.49	6345.25 234875.60 644480.88 644480.88 234875.60 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37 312616.37	443080.19 915501.35 729171.37 770802.87 969862.96 1805361.76 1412908.33 696846.14 482249.48 433110.20 794765.56 1404435.60
Shear Wall t = 30	954.13 954.13 954.13 1192.66 1192.66	4.00 4.00 4.00 0.30 0.30	0.30 0.30 0.30 5.00 5.00	2.00 2.00 54.00 0.00 56.00	19.50 24.50 19.50 22.00 22.00	1908.26 1908.26 51522.94 0.00 66788.99	18605.50 23376.15 18605.50 26238.53 26238.53	26.33 26.33 -25.67 28.33 -27.67	1.85 -3.15 1.85 -0.65 -0.65	696.93 703.42 662.15 668.64 803.26 765.81	1279.33 1279.33 1279.33 1279.33 2493.65 2493.65	666235.39 672430.56 633054.23 639249.39 960509.17 915842.22
Tangga	1448.00 1448.00	2.00 2.00	2.20 2.20	14.00 52.00	6.50 40.75	20272.00 75296.00	9412.00 59006.00	14.33 -23.67	14.85 -19.40	426.02 936.39	1066.69 1066.69	617940.70 1356965.26
Tembok	5406.73 6758.41	32.00 40.00	0.15 0.15	40.00 36.00	9.00 35.00	216269.11 243302.75	48660.55 236544.34	-40.00 -36.00	-9.00 -35.00	1681.00 2521.00	461384.25 901133.98	9550093.73 17939085.05

TOTAL : 317902.73

9007579.42 6787445.52

53854723.41 165852815.51

Xo = 28.33
Yo = 21.35

MMI = MMIo + M. (Xo^2 + Yo^2)
MMI = 165852815.51

LANTAI 4-8 X = 28.33 Y = 21.35 MASSES = 317902.73, 317902.73, 0, 0, 0, 165852815.51

TABEL 6.5. PERHITUNGAN PUSAT MASSA DAN MOMEN INERSIA LANTAI ATAP

Elemen	M Kg dt ² /m	b	d	x	y	M _x	M _y	x'	y'	D ²	MM _{Io}	MMI
kolom 80x80	274.01	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	27.97	20.97	1222.13	29.23	334900.67
	274.01	0.80	0.80	8.00	0.00	2192.05	0.00	19.97	20.97	838.63	29.23	229818.02
	274.01	0.80	0.80	16.00	0.00	4384.10	0.00	11.97	20.97	583.12	29.23	159808.16
	274.01	0.80	0.80	24.00	0.00	6576.15	0.00	3.97	20.97	455.62	29.23	124871.09
	274.01	0.80	0.80	32.00	0.00	8768.20	0.00	-4.03	20.97	456.11	29.23	125006.79
	274.01	0.80	0.80	40.00	0.00	10960.24	0.00	-12.03	20.97	584.61	29.23	160215.28
	274.01	0.80	0.80	48.00	0.00	13152.29	0.00	-20.03	20.97	841.10	29.23	230496.56
	274.01	0.80	0.80	56.00	0.00	15344.34	0.00	-28.03	20.97	1225.60	29.23	335850.61
	274.01	0.80	0.80	0.00	6.50	0.00	1781.04	27.97	14.47	991.73	29.23	271770.18
	274.01	0.80	0.80	8.00	6.50	2192.05	1781.04	19.97	14.47	608.23	29.23	166687.54
	274.01	0.80	0.80	16.00	6.50	4384.10	1781.04	11.97	14.47	352.72	29.23	96677.68
	274.01	0.80	0.80	24.00	6.50	6576.15	1781.04	3.97	14.47	225.22	29.23	61740.61
	274.01	0.80	0.80	32.00	6.50	8768.20	1781.04	-4.03	14.47	225.71	29.23	61876.31
	274.01	0.80	0.80	40.00	6.50	10960.24	1781.04	-12.03	14.47	354.21	29.23	97084.80
	274.01	0.80	0.80	48.00	6.50	13152.29	1781.04	-20.03	14.47	610.70	29.23	167366.07
	274.01	0.80	0.80	56.00	6.50	15344.34	1781.04	-28.03	14.47	995.20	29.23	272720.13
	274.01	0.80	0.80	0.00	11.50	0.00	3151.07	27.97	9.47	872.00	29.23	238963.63
	274.01	0.80	0.80	8.00	11.50	2192.05	3151.07	19.97	9.47	488.50	29.23	133880.99
	274.01	0.80	0.80	16.00	11.50	4384.10	3151.07	11.97	9.47	232.99	29.23	63871.13
	274.01	0.80	0.80	24.00	11.50	6576.15	3151.07	3.97	9.47	105.49	29.23	28934.05
	274.01	0.80	0.80	32.00	11.50	8768.20	3151.07	-4.03	9.47	105.98	29.23	29069.76
	274.01	0.80	0.80	40.00	11.50	10960.24	3151.07	-12.03	9.47	234.48	29.23	64278.25
	274.01	0.80	0.80	48.00	11.50	13152.29	3151.07	-20.03	9.47	490.98	29.23	134559.52
	274.01	0.80	0.80	56.00	11.50	15344.34	3151.07	-28.03	9.47	875.47	29.23	239913.57
	274.01	0.80	0.80	8.00	19.50	2192.05	5343.12	19.97	1.47	400.93	29.23	109887.13
	274.01	0.80	0.80	16.00	19.50	4384.10	5343.12	11.97	1.47	145.43	29.23	39877.27
	274.01	0.80	0.80	24.00	19.50	6576.15	5343.12	3.97	1.47	17.92	29.23	4940.20
	274.01	0.80	0.80	32.00	19.50	8768.20	5343.12	-4.03	1.47	18.42	29.23	5075.90
	274.01	0.80	0.80	40.00	19.50	10960.24	5343.12	-12.03	1.47	146.91	29.23	40284.39
	274.01	0.80	0.80	48.00	19.50	13152.29	5343.12	-20.03	1.47	403.41	29.23	110565.66
	274.01	0.80	0.80	8.00	24.50	2192.05	6713.15	19.97	-3.53	411.20	29.23	112701.37
	274.01	0.80	0.80	16.00	24.50	4384.10	6713.15	11.97	-3.53	155.70	29.23	42691.51
	274.01	0.80	0.80	24.00	24.50	6576.15	6713.15	3.97	-3.53	28.19	29.23	7754.43
	274.01	0.80	0.80	32.00	24.50	8768.20	6713.15	-4.03	-3.53	28.69	29.23	7890.14
	274.01	0.80	0.80	40.00	24.50	10960.24	6713.15	-12.03	-3.53	157.18	29.23	43098.63
	274.01	0.80	0.80	48.00	24.50	13152.29	6713.15	-20.03	-3.53	413.68	29.23	113379.90
	274.01	0.80	0.80	0.00	32.50	0.00	8905.20	27.97	-11.53	915.14	29.23	250783.43
	274.01	0.80	0.80	8.00	32.50	2192.05	8905.20	19.97	-11.53	531.64	29.23	145700.79
	274.01	0.80	0.80	16.00	32.50	4384.10	8905.20	11.97	-11.53	276.13	29.23	75690.93
	274.01	0.80	0.80	24.00	32.50	6576.15	8905.20	3.97	-11.53	148.63	29.23	40753.85
	274.01	0.80	0.80	32.00	32.50	8768.20	8905.20	-4.03	-11.53	149.12	29.23	40889.56
	274.01	0.80	0.80	40.00	32.50	10960.24	8905.20	-12.03	-11.53	277.62	29.23	76098.05
	274.01	0.80	0.80	48.00	32.50	13152.29	8905.20	-20.03	-11.53	534.11	29.23	146379.32
	274.01	0.80	0.80	56.00	32.50	15344.34	8905.20	-28.03	-11.53	918.61	29.23	251733.38
	274.01	0.80	0.80	0.00	37.50	0.00	10275.23	27.97	-16.53	1055.41	29.23	289218.46
	274.01	0.80	0.80	8.00	37.50	2192.05	10275.23	19.97	-16.53	671.91	29.23	184135.82
	274.01	0.80	0.80	16.00	37.50	4384.10	10275.23	11.97	-16.53	416.40	29.23	114125.96
	274.01	0.80	0.80	24.00	37.50	6576.15	10275.23	3.97	-16.53	288.90	29.23	79188.89
	274.01	0.80	0.80	32.00	37.50	8768.20	10275.23	-4.03	-16.53	289.39	29.23	79324.59
	274.01	0.80	0.80	40.00	37.50	10960.24	10275.23	-12.03	-16.53	417.89	29.23	114533.08
	274.01	0.80	0.80	48.00	37.50	13152.29	10275.23	-20.03	-16.53	674.38	29.23	184814.35
	274.01	0.80	0.80	56.00	37.50	15344.34	10275.23	-28.03	-16.53	1058.88	29.23	290168.41
	274.01	0.80	0.80	0.00	44.00	0.00	12056.27	27.97	-23.03	1312.51	29.23	359665.96
	274.01	0.80	0.80	8.00	44.00	2192.05	12056.27	19.97	-23.03	929.01	29.23	254583.32
	274.01	0.80	0.80	16.00	44.00	4384.10	12056.27	11.97	-23.03	673.50	29.23	184573.46
	274.01	0.80	0.80	24.00	44.00	6576.15	12056.27	3.97	-23.03	546.00	29.23	149636.39
	274.01	0.80	0.80	32.00	44.00	8768.20	12056.27	-4.03	-23.03	546.49	29.23	149772.09
	274.01	0.80	0.80	40.00	44.00	10960.24	12056.27	-12.03	-23.03	674.99	29.23	184980.58
	274.01	0.80	0.80	48.00	44.00	13152.29	12056.27	-20.03	-23.03	931.49	29.23	255261.85
	274.01	0.80	0.80	56.00	44.00	15344.34	12056.27	-28.03	-23.03	1315.98	29.23	360615.91

Lanjutan

pelat t = 12 cm	24381.65	12.00	44.00	6.00	22.00	146289.91	536396.33	21.97	-1.03	483.69	4226152.91	16019407.66
	6926.61	4.00	37.50	14.00	25.25	96972.48	174896.79	13.97	-4.28	213.43	820947.06	2299275.70
	65017.74	32.00	44.00	32.00	22.00	2080567.58	1430390.21	-4.03	-1.03	17.30	16037708.46	17162740.79
	6926.61	4.00	37.50	50.00	18.75	346330.28	129873.85	-22.03	2.22	490.30	820947.06	4217091.91
	8127.22	4.00	44.00	54.00	22.00	438869.72	178798.78	-26.03	-1.03	678.67	1322027.32	6837688.83
Balok Induk	4795.11	56.00	0.50	28.00	0.00	134263.00	0.00	-0.03	20.97	439.86	1253221.20	3362419.47
	4795.11	56.00	0.50	28.00	6.50	134263.00	31168.20	-0.03	14.47	209.47	1253221.20	2257636.06
	4795.11	56.00	0.50	28.00	11.50	134263.00	55143.73	-0.03	9.47	89.74	1253221.20	1683521.32
	3425.08	40.00	0.50	28.00	19.50	95902.14	66788.99	-0.03	1.47	2.17	456748.22	464182.26
	3425.08	40.00	0.50	28.00	24.50	95902.14	83914.37	-0.03	-3.53	12.44	456748.22	499360.25
	342.51	4.00	0.50	6.00	19.50	2055.05	6678.90	21.97	1.47	484.81	463.81	166514.43
	342.51	4.00	0.50	6.00	24.50	2055.05	8391.44	21.97	-3.53	495.08	463.81	170032.22
	342.51	4.00	0.50	50.00	19.50	17125.38	6678.90	-22.03	1.47	487.53	463.81	167447.41
	342.51	4.00	0.50	50.00	24.50	17125.38	8391.44	-22.03	-3.53	497.80	463.81	170965.21
		56.00	0.50	28.00	32.50	0.00	0.00	-0.03	-11.53	132.87	0.00	0.00
	4795.11	56.00	0.50	28.00	27.50	134263.00	131865.44	-0.03	-6.53	42.60	1253221.20	1457510.12
	4795.11	56.00	0.50	28.00	44.00	134263.00	210984.71	-0.03	-23.03	530.25	1253221.20	3795812.22
	1669.72	0.50	19.50	0.00	9.75	0.00	16279.82	27.97	11.22	908.22	52944.19	1569424.37
	1669.72	0.50	19.50	0.00	34.25	0.00	57188.07	27.97	-13.28	958.55	52944.19	1653455.77
	3767.58	0.50	44.00	8.00	22.00	30140.67	82886.85	19.97	-1.03	399.82	607915.39	2114262.07
	3767.58	0.50	44.00	16.00	22.00	60281.35	82886.85	11.97	-1.03	144.31	607915.39	1151626.50
	3767.58	0.50	44.00	24.00	22.00	90422.02	82886.85	3.97	-1.03	16.81	607915.39	671241.70
	3767.58	0.50	44.00	32.00	22.00	120562.69	82886.85	-4.03	-1.03	17.30	607915.39	673107.66
	3767.58	0.50	44.00	40.00	22.00	150703.36	82886.85	-12.03	-1.03	145.80	607915.39	1157224.39
	3767.58	0.50	44.00	48.00	22.00	180844.04	82886.85	-20.03	-1.03	402.29	607915.39	2123591.88
	1669.72	0.50	19.50	56.00	9.75	93504.59	16279.82	-28.03	11.22	911.69	52944.19	1575213.10
	1669.72	0.50	19.50	56.00	34.25	93504.59	57188.07	-28.03	-13.28	962.02	52944.19	1659244.50
Balok Anak	528.44	12.00	0.30	6.00	3.25	3170.64	1717.43	21.97	17.72	796.74	6345.25	427375.44
	1761.47	40.00	0.30	36.00	3.25	63412.84	5724.77	-8.03	17.72	378.60	234875.60	901764.56
	2466.06	56.00	0.30	28.00	15.50	69049.54	38223.85	-0.03	5.47	29.95	644480.88	718348.86
	2466.06	56.00	0.30	28.00	28.50	69049.54	70282.57	-0.03	-7.53	56.66	644480.88	784202.04
	1761.47	40.00	0.30	20.00	40.00	35229.36	70458.72	7.97	-19.03	425.54	234875.60	984442.08
	1937.61	0.30	44.00	4.00	8.00	7750.46	15500.92	23.97	12.97	742.81	312616.37	1751899.86
	1937.61	0.30	44.00	12.00	4.00	23251.38	7750.46	15.97	16.97	543.09	312616.37	1364916.93
	1937.61	0.30	44.00	20.00	10.00	38752.29	19376.15	7.97	10.97	183.91	312616.37	668964.73
	1937.61	0.30	44.00	28.00	12.00	54253.21	23251.38	-0.03	8.97	80.51	312616.37	468622.26
	1937.61	0.30	44.00	36.00	19.50	69754.13	37783.49	-8.03	1.47	66.67	312616.37	441788.89
	1937.61	0.30	44.00	44.00	19.50	85255.05	37783.49	-16.03	1.47	259.16	312616.37	814770.55
	1937.61	0.30	44.00	52.00	19.50	100755.96	37783.49	-24.03	1.47	579.66	312616.37	1435766.88
Shear Wall t = 30	513.76	4.00	0.30	2.00	19.50	1027.52	10018.35	25.97	1.47	676.56	688.87	348279.77
	513.76	4.00	0.30	2.00	24.50	1027.52	12587.16	25.97	-3.53	686.83	688.87	353556.46
	513.76	4.00	0.30	54.00	19.50	27743.12	10018.35	-26.03	1.47	679.78	688.87	349933.69
	513.76	4.00	0.30	54.00	24.50	27743.12	12587.16	-26.03	-3.53	690.05	688.87	355210.39
	642.20	0.30	5.00	0.00	22.00	0.00	14128.44	27.97	-1.03	783.32	1342.74	504393.82
	642.20	0.30	5.00	56.00	22.00	35963.30	14128.44	-28.03	-1.03	786.79	1342.74	506620.25
Tangga	1448.00	2.00	2.20	14.00	6.50	20272.00	9412.00	13.97	14.47	404.60	1066.69	586927.35
	1448.00	2.00	2.20	52.00	40.75	75296.00	59006.00	-24.03	-19.78	968.62	1066.69	1403627.46
TOTAL :	218082.54					6099560.66	4573829.62				38231210.35	98982546.47

$$X_o = 27.97$$

$$Y_o = 20.97$$

$$MMI = MMI_o + M \cdot (X_o^2 + Y_o^2)$$

$$MMI = 98982546.47$$

LANTAI ATAP X = 27.97 Y = 20.97 MASSES = 218082.54, 218082.54, 0, 0, 0, 98982546.27

BAB VII

PERENCANAAN BALOK INDUK

Bab ini membahas tentang perencanaan penulangan balok induk selengkapnya, yang meliputi perencanaan penulangan lentur, geser, torsi, kontrol lendutan, kontrol retak dan perhitungan panjang penyaluran dengan ketentuan tingkat daktilitas dua

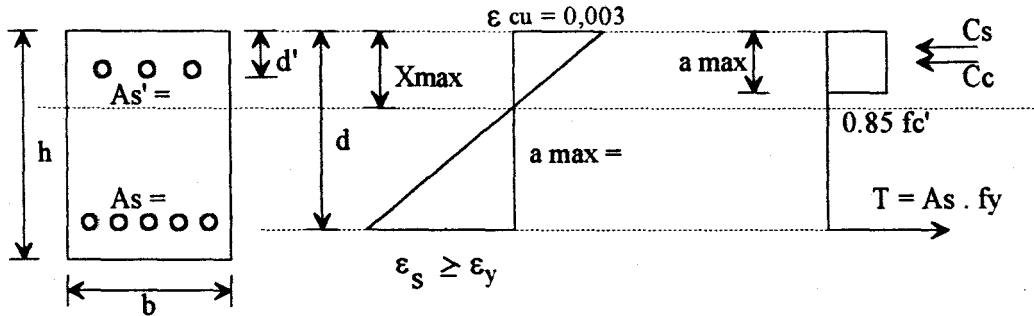
7.1. PENULANGAN LENTUR BALOK INDUK

Prinsip perhitungan untuk penulangan balok induk adalah sama dengan penulangan lentur balok anak, hanya pada penulangan lentur balok induk, banyak dijumpai momen yang berbalik arah akibat gempa. Jadi momen pada tumpuan bisa berharga negatif (akibat beban grafitasi) maupun positif (akibat beban gempa yang cukup besar), sehingga penulangannya berdasarkan masing-masing arah momen yang terjadi.

Untuk kondisi pembebanan seperti ini, maka secara praktis perhitungan penulangan yang dipakai adalah tulangan tunggal. Tulangan tekan otomatis akan terpasang pada kondisi momen yang berbalik arah, sedangkan untuk momen tunggal, ada dua kondisi sistem penulangan :

1. Apabila $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$, maka tulangan tekan hanya dipasang praktis saja.
2. Apabila $\rho_{\text{perlu}} \geq \rho_{\text{max}}$, maka tulangan tekan dibutuhkan untuk menambah kekuatan.

□ **Balok Persegi Dengan Tulangan Ganda**



GAMBAR 7.1. PENAMPANG PERSEGI DENGAN TULANGAN RANGKAP

Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Hitung d dan d'

$$d = h - dc - \varnothing_{\text{senggang}} - \varnothing_{\text{tulangan utama}} / 2$$

$$d' = dc + \varnothing_{\text{senggang}} + \varnothing_{\text{tulangan utama}} / 2$$

2. Hitung R_n

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

3. Hitung ρ_{perlu}

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right]$$

4. Cek terhadap ρ_{max}

$$\text{bila : } \rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{max}} \dots\dots\dots (\text{perlu tulangan tekan !})$$

5. Hitung x_b , x_{max} , a_{max}

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$x_{\text{max}} = 0,75 \cdot x_b$$

$$a_{\text{max}} = 0,85 \cdot x_{\text{max}}$$

6. Hitung $C_{c_{max}}$, $M_{n_{max}}$

$$C_{c_{max}} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_{max} \cdot b$$

$$M_{n_{max}} = C_{c_{max}} (d - a_{max} / 2)$$

7. Hitung momen sisa yang harus dipikul oleh tulangan tekan

$$M_{n_{sisa}} = M_{n_{perlu}} - M_{n_{max}}$$

8. Hitung gaya harus ditahan tulangan tekan akibat momen sisa tersebut

$$C_{s_{perlu}} = \frac{M_{n_s}}{d - d'}$$

9. Periksa keadaan tulangan tekan leleh

$$\epsilon_s' = \frac{x_{max} - d'}{x_{max}} 0,003 \geq \epsilon_y \quad \dots \quad \epsilon_y = f_y / E_s$$

10. Hitung luas tulangan tekan dan tarik sesuai keadaan tulangan tekan diatas .

a. Tulangan tekan leleh :

$$A_s' = \frac{C_{s_{perlu}}}{f_y - 0,85 f_c'}$$

$$A_s = \frac{C_{c_{max}}}{f_y} + A_s'$$

b. Tulangan tekan belum leleh :

$$A_s' = \frac{C_{s_{perlu}}}{f_s' - 0,85 f_c'} \quad \dots \quad f_s' = E_s \cdot \epsilon_s'$$

$$A_s = \frac{C_{c_{max}}}{f_y} + A_s' \frac{f_s'}{f_y}$$

Buku referensi yang digunakan pada bab ini adalah diktat *"Reinforced Concrete Design"*

oleh Charles G. Salmon dan Chu Kia Wang.

□ Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan penulangan lentur diambil balok induk As. A tipe (BI 15) :

- Ukuran balok = 50 x 70
- Mutu beton (f_c') = 24,6 MPa
- Mutu baja (f_y) = 320 MPa
- ρ_{max} = 0,027
- ρ_{min} = 0,0044
- *Decking* = 4 cm
- Sengkang = \emptyset 12
- Tulangan utama = D.25

a. Penulangan pada tumpuan kiri

- $M_u - = -3,345 \text{ E8 Nmm}$
- $M_u + = 1,125 \text{ E8 Nmm}$
- $d = 700 - 40 - 12 - 0,5 \cdot 25 = 635,5 \text{ mm}$

♦ Tulangan atas (momen negatif)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{3,345 \text{ E8}}{0,8 \times 500 \times 635,5^2} = 2,071$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{320}{0,85 \times 24,6} = 15,3$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 2,071}{320}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0068 < \rho_{max} = 0,027$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0068 \times 50 \times 63,55$$

$$= 21,61 \text{ cm}^2$$

Digunakan tulangan 5 D.25 ($A_s = 24,55 \text{ cm}^2$)

♦ Tulangan bawah (momen positif)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{1,125 \text{ E8}}{0,8 \times 500 \times 635,5^2} = 0,696$$

$$m = 15,3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,696}{320}} \right)$$

$$= 0,0022 < \rho_{\min} = 0,0044 \rightarrow \text{dipakai } \rho = 0,0044$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0044 \times 50 \times 63,55$$

$$= 13,98 \text{ cm}^2$$

Digunakan tulangan 3 D.25 ($A_s = 14,73 \text{ cm}^2$)

b. Penulangan pada lapangan

$$M_u = 2,071 \text{ E8 Nmm}$$

$$d = 635,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2,071 \text{ E8}}{0,8 \times 500 \times 635,5^2} = 1,282$$

$$m = 15,3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,3 \cdot 1,282}{320}} \right)$$

$$= 0,0041 < \rho_{\min} = 0,0044 \rightarrow \text{dipakai } \rho = 0,0044$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0044 \times 116,67 \times 63,55 \rightarrow \text{balok T palsu}$$

$$= 32,52 \text{ cm}^2$$

Digunakan tulangan 7 D.25 ($A_s = 34,37 \text{ cm}^2$)

c. Penulangan pada tumpuan kanan

- $M_u^- = -3,309\text{E}8 \text{ Nmm}$

- $M_u^+ = 2,927\text{E}8\text{Nmm}$

- $d = 635,5 \text{ mm}$

♦ Tulangan atas (momen negatif)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{3,309\text{E}8}{0,8 \cdot 500 \cdot 635,5^2} = 2,048$$

$$m = 15,3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,3 \cdot 2,048}{320}} \right)$$

$$= 0,0067 < \rho_{\text{max}} = 0,027$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0067 \times 50 \times 63,55$$

$$= 21,29 \text{ cm}^2$$

Digunakan tulangan 5 D.25 ($A_s = 24,55 \text{ cm}^2$)

♦ Tulangan bawah (momen positif)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{2,927\text{E}8}{0,8 \cdot 500 \cdot 635,5^2} = 1,812$$

$$m = 15,3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{15,3} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,3 \cdot 1,812}{320}} \right)$$

$$= 0,0059 < \rho_{\text{max}} = 0,027$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0059 \times 50 \times 63,55 = 18,75 \text{ cm}^2$$

Digunakan tulangan 4 D.25 ($A_s = 19,64 \text{ cm}^2$)

Catatan: Semua tulangan di atas, nantinya akan ditambah dengan tulangan torsi.

Selanjutnya untuk penulangan balok yang lain dapat dilihat pada Tabel 7.1.

7.2. PENULANGAN GESER - TORSI BALOK INDUK

Penampang persegi yang mengalami kombinasi dari geser, lentur, dan torsi harus diperhitungkan terhadap model keruntuhan suatu komponen struktur oleh puntiran.

Torsi yang terjadi pada suatu komponen struktur bisa dibedakan menjadi dua macam :

1. Torsi statis tertentu (Torsi keseimbangan)

Torsi ditentukan dari statika saja sedangkan pengaruh kekuatan struktur tidak diperhitungkan.

2. Torsi statis tak tentu (Torsi kompatibilitas)

Torsi yang harus dipikul tergantung dari pengaruh kekakuan komponen struktur dan komponen lain yang berhubungan dengannya.

Untuk torsi kompatibilitas, apabila terjadi pengurangan dari momen torsi akibat redistribusi gaya-gaya dalam, maka momen torsi terfaktor maksimum dapat direduksi menjadi

$$T_u = \phi \left[\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{9} \right) \frac{\sum x^2 y}{3} \right] \dots\dots\dots (\text{SK SNI '91, Ayat 3.4.6 butir 3})$$

Di dalam perhitungan penulangan geser dan torsi ini, dianggap bahwa torsi yang terjadi adalah torsi kompatibilitas karena struktur adalah statis tak tentu sehingga pengaruh kekakuan dari unsur-unsur lain yang mempengaruhinya harus diperhitungkan.

Pada perencanaan struktur dengan daktilitas dua, harus diperhatikan daerah ujung yang memiliki potensi menjadi sendi plastis. Dalam SK SNI '91, Ayat 3.14.9 butir 3 sub butir 3.a,

daerah ujung untuk balok adalah daerah yang diukur dari muka kolom sebesar tinggi total balok

(h) yang harus dicegah keruntuhan tiba-tiba akibat geser pada waktu terbentuk sendi plastis.

Oleh karena itu, kekuatan geser nominal yang dipikul oleh beton harus diambil 1/2 kalinya atau $1/2 \phi V_c$ (SK SNI '91, Ayat 3.14.9 butir 10 sub butir 1)

Langkah-langkah perhitungan penulangan geser dan torsi adalah sbb :

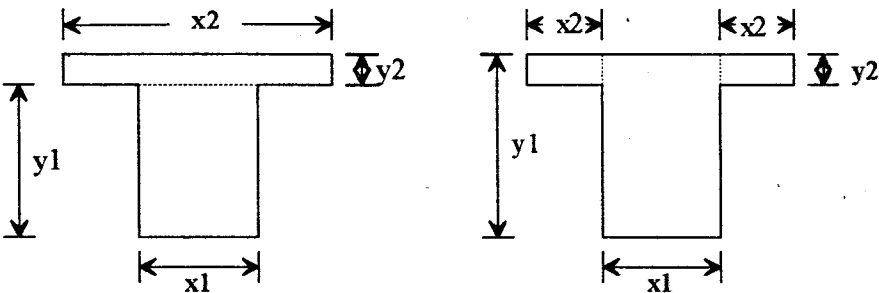
1. Hitung batas torsi (T_u) yang tidak memerlukan tulangan torsi (khusus untuk torsi keseimbangan)

Batas $T_u = \phi \left[\left(\frac{\sqrt{f_{c'}}}{20} \right) \cdot \Sigma x^2 y \right] \dots\dots\dots$ (SK SNI '91, Ayat 3.4.6 butir1)

Dimana :

$\phi = 0,6$

$\Sigma x^2 y$ = dipilih terbesar dari kedua keadaan berikut ini



GAMBAR 7.5

$\Sigma x^2 .y = x_1^2 .y_1 + x_2^2 .y_2$ $\Sigma x^2 .y = x_1^2 .y_1 + 2.x_2^2 .y_2$

2. Hitung kuat nominal torsi yang mampu dipikul beton

$$\phi .T_c = \frac{\phi . 1/15 . \sqrt{f_{c'}} . \Sigma x^2 .y}{\sqrt{1 + \left[\frac{0,4 . V_u}{C_t . T_u} \right]^2}} \left[1 + 0,3 . \frac{N_u}{A_g} \right]$$

dimana : $C_t = \frac{b_w \cdot d}{\sum x^2 y} N_u < 1$ tarik

$N_u = 0$ tekan

Jika $T_u < \phi \cdot T_c$ pakai tulangan torsi minimum

Jika $T_u > \phi \cdot T_c$ hitung tulangan torsi

Jika $T_u > 5 \cdot \phi \cdot T_c$ penampang harus diperbesar

3. Hitung tulangan torsi yang dibutuhkan

$$\phi \cdot T_s = T_u - \phi \cdot T_c$$

4. Hitung tulangan transversal torsi

$$\frac{A_t}{s} = \frac{\phi \cdot T_s}{\phi \cdot \alpha_1 \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}$$

dimana :

$$x_1 = b - 2 (\text{decking} + 1/2 \text{ diameter sengkang})$$

$$y_1 = h - 2 (\text{decking} + 1/2 \text{ diameter sengkang})$$

$$\alpha_1 = 1/3 \left(2 + \frac{y_1}{x_1} \right) \leq 1,5$$

$$A_t = \text{luas satu kaki sengkang}$$

5. Hitung kuat nominal geser yang mampu dipikul beton

$$\phi \cdot V_c = 1/2 \frac{\phi \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left[2,5 \cdot C_t \cdot \frac{T_u}{V_u} \right]^2}} \left[1 + 0,3 \frac{N_u}{A_g} \right]$$

6. Hitung tulangan geser yang diperlukan

$$\frac{A_v}{s} = \frac{\phi \cdot V_s}{\phi \cdot f_y \cdot d} \quad \phi V_s = V_u + \phi V_c$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{b_w}{3 \cdot f_y}$$

7. Hitung tulangan total sengkang gabungan torsi dan geser

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{2.A_t}{s} \dots \dots \dots \text{ min}$$

8. Kontrol spasi maksimum tulangan transversal total

$$s_{\text{max}} = \frac{(x_1 + Y_1)}{4} \leq 300 \text{ mm}$$

9. Hitung tulangan longitudinal yang diperlukan dan aturlah pemasangannya.

$$A_{l1} = 2 \cdot A_t / s \cdot (x_1 + y_1)$$

$$A_{l2} = \left[\frac{2,8 \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3 \cdot C_t}} \right) - 2 \cdot A_t \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

Al diambil yang terbesar dan tidak perlu melebihi :

$$A_l = \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{f_y} \left(\frac{T_u}{T_u + \frac{V_u}{3 \cdot C_t}} \right) - \frac{b_w \cdot s}{3 f_y} \right] \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

Tulangan Al harus dipasang dengan jarak ≤ 30 cm sehingga tulangan Al disebarkan pada 4 bagian yaitu : atas, 1/3h, 2/3h, dan bawah masing-masing sebesar 1/4Al.

Contoh perhitungan

Contoh perhitungan penulangan geser dan torsi diambil balok induk As. A tipe (BI 15) :

- Ukuran balok = 50 x 70 cm
- Mutu beton (fc') = 24,6 MPa
- Mutu baja (fy) = 320 MPa
- ρ_{max} = 0,027
- ρ_{min} = 0,0044
- Decking = 4 cm
- Sengkang = Ø12
- Tulangan utama = D.25

Penulangan pada daerah ujung kiri (tumpuan kiri)

$$- V_u = 19510 \text{ kg} = 1,951\text{E}5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} - T_u &= \phi \cdot (\sqrt{f_c'} / 9) \Sigma x^2 y / 3 \quad \dots\dots\dots (\text{T}u \text{ kompabilitas}) \\ &= 0,6 \cdot (\sqrt{24,6} / 27) \cdot 3,083\text{E}8 \\ &= 3,398\text{E}7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

dimana:

$$\begin{aligned} - \text{Batas Torsi} &= \phi \cdot (\sqrt{f_c'} / 20 \cdot \Sigma x^2 y) \\ &= 0,6 \cdot (\sqrt{24,6} / 20) \cdot 3,083\text{E}8 \\ &= 4,587\text{E}7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

(Untuk T_u kompabilitas, batas T_u tidak boleh dipakai sebagai patokan, T_u kompabilitas tetap dipakai walaupun nilainya $< \text{Batas } T_u$)

☐ Kuat Nominal torsi yang mampu dipikul beton

$$\phi T_c = \frac{\phi \cdot 1/15 \cdot \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y}{\sqrt{1 + \left[\frac{0,4 \cdot V_u}{C_t \cdot T_u} \right]^2}} \cdot \left[1 + 0,3 \cdot \frac{N_u}{A_g} \right]$$

dimana :

$$C_t = \frac{b_w \cdot d}{\Sigma x^2 y} = \frac{500 \cdot 635,5}{3,083\text{E}8} = 0,00103 \text{ mm}^{-1}$$

$$\phi T_c = \frac{0,6/15 \cdot \sqrt{24,6} \cdot 3,083\text{E}8}{\sqrt{1 + \left[\frac{0,4 \cdot 1,951\text{E}5}{0,00103 \cdot 3,398\text{E}7} \right]^2}} = 2,503\text{E}7$$

$$\begin{aligned} \phi T_s &= T_u - \phi T_c = (3,398 - 2,503) \text{ E}7 \\ &= 8,95\text{E}6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

☐ Hitung tulangan transversal (A_t)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{\phi T_s}{\phi \cdot \alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}$$

$$x_1 = 500 - 2 \cdot (40 + 6) = 408$$

$$y_1 = 700 - 2 \cdot (40 + 6) = 608$$

$$\alpha_t = 1/3 (2 + y_1/x_1)$$

$$= 1/3 \cdot (2 + 608/408) = 1,163 < 1,5 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{8,95E6}{0,6 \cdot 1,163 \cdot 408 \cdot 608 \cdot 320}$$

$$= 0,162 \text{ mm}^2/\text{mm} = 0,0162 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

☐ Kuat Nominal geser yang mampu dipikul beton

$$\phi \cdot V_c = 1/2 \frac{\phi \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left[2,5 C_t \frac{T_u}{V_u} \right]^2}} \left[1 + 0,3 \frac{N_u}{A_s} \right]$$

$$= 1/2 \frac{0,6/6 \cdot \sqrt{24,6} \cdot 500 \cdot 635,5}{\sqrt{1 + \left[2,5 \cdot 0,00103 \frac{3,398E7}{1,951E5} \right]^2}} = 71899,735 \text{ N}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 1,951E5 - 71899,735 = 123200,265 \text{ N}$$

☐ Hitung tulangan geser (A_v)

$$\frac{A_v}{s} = \frac{\phi \cdot V_s}{\phi \cdot f_y \cdot d} = \frac{123200,265}{0,6 \cdot 320 \cdot 635,5}$$

$$= 1,010 \text{ mm}^2/\text{mm} = 0,101 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

☐ Hitung tulangan transversal total yang dibutuhkan

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{2 \cdot A_t}{s} = 0,101 + 2 \cdot 0,0162$$

$$= 0,1334 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Dipakai sengkang $\varnothing 12$ Avt ada = luas dua kaki
 $= 2,26 \text{ cm}^2$

Jarak sengkang

$$s = 2,26/0,1334 = 16,942 = 17 \text{ cm}$$

Dipasang sengkang tertutup $\varnothing 12 - 17 \text{ cm}$

$$\text{Kontrol } s_{\max} = \frac{(x1 + y1)}{4} = \frac{(40,8 + 60,8)}{4} = 25,4 > s \text{ (Ok)}$$

☐ Hitung tulangan memanjang torsi

$$\begin{aligned} Al_1 &= 2 \cdot \frac{At}{s} (x1 + y1) \\ &= 2 \cdot 0,0162 (40,8 + 60,8) \\ &= 3,292 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Al_2 &= \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{fy} \left[\frac{Tu}{Tu + \frac{Vu}{3 \cdot Ct}} \right] - 2 At \right] \left[\frac{x1 + y1}{s} \right] \\ &= \left[\frac{2,8 \cdot 500 \cdot 170}{320} \left[\frac{3,398E7}{3,398E7 + \frac{1,951E5}{3 \cdot 0,00103}} \right] - 2 \cdot 0,162 \cdot 170 \right] \left[\frac{408 + 608}{170} \right] \\ &= 1226,03 \text{ mm}^2 = 12,260 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Al dipilih yang terbesar, tetapi Al_2 tidak perlu lebih besar dari :

$$\begin{aligned} Al &= \left[\frac{2,8 \cdot x \cdot s}{fy} \left[\frac{Tu}{Tu + \frac{Vu}{3 \cdot Ct}} \right] - \frac{bw \cdot s}{3 fy} \right] \left[\frac{x1 + y1}{s} \right] \\ &= \left[\frac{2,8 \cdot 500 \cdot 170}{320} \left[\frac{3,398E7}{3,398E7 + \frac{1,951E5}{3 \cdot 0,00103}} \right] - \frac{500 \cdot 170}{3 \cdot 320} \right] \left[\frac{408 + 608}{170} \right] \\ &= 1026,048 \text{ mm}^2 = 10,260 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jadi Al perlu = 10,26 cm^2

Tulangan torsi longitudinal A_l disebarakan pada 4 bagian balok (sisi atas, 2 x sisi tengah, sisi bawah) sebesar $1/4 A_l = 2,57 \text{ cm}^2$, kemudian ditambahkan pada penulangan lentur balok induk seperti diatas.

Disain akhir balok induk pada tumpuan kiri

☐ Tulangan atas

$$A_s \text{ total} = A_s \text{ lentur} + 1/4 A_l$$

$$= 21,61 + 2,57 = 24,18 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipasang tulangan} \quad 5 \text{ D.25 } (A_s \text{ ada} = 24,55 \text{ cm}^2)$$

☐ Tulangan tengah

$$A_s \text{ perlu} = 1/2 A_l = 2 \cdot 2,57 = 5,14 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipasang tulangan} \quad 2 \text{ D.25 } (A_s \text{ ada} = 9,82 \text{ cm}^2)$$

☐ Tulangan bawah

$$A_s \text{ perlu} = A_s \text{ lentur} + 1/4 A_l$$

$$= 13,98 + 2,57 = 16,55 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipasang tulangan} \quad 4 \text{ D.25 } (A_s \text{ ada} = 19,64 \text{ cm}^2)$$

Selanjutnya untuk penulangan geser dan torsi pada balok induk yang lain, dapat dilihat pada Tabel 7.2.

7.3. KONTROL LENDUTAN DAN RETAK

Kontrol lendutan dan kontrol retak pada balok induk adalah sama dengan kontrol lendutan dan retak pada balok anak.

☐ Kontrol Lendutan

SK SNI '91 menyatakan bahwa bila tinggi balok induk lebih besar dari pada tinggi minimum seperti yang disyaratkan dalam Tabel 3.2.5 (a), maka lendutan tidak perlu dihitung.

Tinggi balok induk diambil sebesar 70 cm lebih besar dari tinggi minimum balok yang disyaratkan SK SNI '91, jadi lendutan tidak perlu dihitung.

☐ Kontrol Retak

SK SNI '91, Ayat 3.3.6 butir 4 menyebutkan bahwa apabila tegangan leleh rancang (f_y) untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen negatif dan positif maksimum harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga nilai z yang diberikan oleh :

$$z = f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \dots\dots\dots (\text{SK SNI '91, pers 3.3.4})$$

tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang didalam ruangan dan 25 MN/m untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, dimana f_s boleh diambil sebesar 60% dari kuat leleh yang disyaratkan (f_y).

Dasar perencanaan untuk kontrol retak ini telah diatur dalam SK SNI '91, Ayat 3.3.6, butir 4.

♦ Balok dalam ruangan

$$z = f_s \cdot$$

dimana:

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \times 320 = 192 \text{ MPa}$$

$$d_c = 40 + 12 + 0,5 \times 25 = 64,5 \text{ mm}$$

$$A_c = 2 \cdot d_c \cdot b_w / \text{jumlah tulangan}$$

$$= 2 \times 64,5 \times 500 / 3 = 21500 \text{ mm}^2$$

maka :

$$z = 192 \times \sqrt[3]{64,5 \times 21500}$$

$$= 21,411 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m}$$

Jadi retak pada beton tidak perlu diperiksa !

7.4. PANJANG PENYALURAN BALOK INDUK

Panjang penyaluran dalam hal ini harus diperhitungkan untuk menjamin agar tidak terjadi slip antara beton dan tulangan.

Syarat-syarat mengenai panjang penyaluran dan penyambungan tulangan diatur dalam SK SNI '91, Pasal 3.5.

♦ Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Panjang penyaluran dasar tulangan untuk baja tulangan deform D.22 adalah sebagai berikut :

SK SNI '91, Ayat 3.5.2, butir 2

$$\begin{aligned} l_{db} &= 0,02 \cdot A_b \cdot f_y / \sqrt{f_c'} \\ &= 0,02 \times 491 \times 320 / \sqrt{24,6} \\ &= 633,57 \dots\dots\dots 64 \text{ cm} \end{aligned}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} l_{db} &= 0,06 \cdot d_b \cdot f_y \\ &= 0,06 \times 25 \times 320 \\ &= 480 \text{ mm} \dots\dots\dots 48 \text{ cm} \end{aligned}$$

SK SNI '91, Ayat 3.5.2, butir 3 sub butir 1

Akibat top bar efect (tulangan atas) :

$$l_d = 1,4 \times l_{db} = 1,4 \times 633,57 = 886,998 \dots\dots\dots 89 \text{ cm}$$

♦ Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Panjang penyaluran dasar untuk tulangan D.25 adalah :

SK SNI '91, Ayat 3.5.3, butir 2

$$\begin{aligned} l_{db} &= \frac{d_b \cdot f_y}{4 \cdot \sqrt{f_c'}} = \frac{25 \times 320}{4 \times \sqrt{24,6}} \\ &= 403,24 \text{ mm} \dots\dots\dots 41 \text{ cm} \end{aligned}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} l_{db} &= 0,04 \cdot d_b \cdot f_y \\ &= 0,04 \times 25 \times 320 = 320 = 32 \text{ cm} \end{aligned}$$

♦ Panjang Penyaluran Kait Standart Dalam Tarik

Panjang penyaluran dasar kait standart (hook) dari tulangan D.22 adalah :

SK SNI '91, Ayat 3.5.5.

$$l_{hb} = 100 \cdot d_b / \sqrt{f_{c'}} = 100 \times 25 / \sqrt{24,6} = 504,049 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran hook :

$$\begin{aligned} l_{dh} &= l_{hb} (f_y / 400) \times 0,7 \\ &= 504,049 \times (320 / 400) \times 0,7 = 282,267 \text{ mm} \dots\dots\dots 29 \text{ cm} \end{aligned}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$l_{dh} = 8 \cdot d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}$$

♦ Panjang Penyaluran Tulangan Momen Positif

SK SNI '91, Ayat 3.5.11 menentukan bahwa sepertiga dari tulangan tarik pada momen positif diteruskan pada jarak yang terbesar antara :

- 150 mm = 15 cm
- d = 635,5 mm = 64 cm (menentukan)
- 12 · d_b = 12 × 25 = 300 mm = 30 cm

♦ Panjang Penyaluran Tulangan Momen Negatif

SK SNI '91, Ayat 3.5.12 menentukan bahwa sepertiga dari tulangan tarik pada momen negatif diteruskan pada jarak yang terbesar antara :

- d = 635,5 mm = 64 cm (menentukan)
- 12 · d_b = 12 × 25 = 300 mm = 30 cm
- l_n / 16 = 800 / 16 = 500 mm = 50 cm

TABEL 7.1-A. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI ATAP

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 100 mm

Penutup beton (dc) = 40 mm

Tulangan utama = D.25

Diameter begel = $\phi 12$ $\rho_{bal} = 0.0362$ $\rho_{max} = 0.027$ $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b _z (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As. A	BI.1	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.503E+08	15.3	1.549	0.0050	0.0050	16.002	3.273	19.274	4 D.25	19.640		34.155
		50	70	Lap.	635.5	1100	1.460E+08	15.3	0.904	0.0029	0.0044	13.981	6.245	20.226	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	9.730E+07	15.3	0.602	0.0019	0.0044	13.981	3.273	17.254	4 D.25	19.640		
As. B	BI.2	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.981E+08	15.3	2.464	0.0082	0.0082	26.112	2.055	28.166	6 D.25	29.460	18.785	
		50	70	Lap.	635.5	2000	2.364E+08	15.3	1.463	0.0047	0.0047	15.078	4.882	19.960	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.700E+08	15.3	1.052	0.0034	0.0044	13.981	2.055	16.036	4 D.25	19.640		
As. C	BI.3	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.625E+08	15.3	2.863	0.0097	0.0097	30.697	2.528	33.225	7 D.25	34.370	18.785	
		50	70	Lap.	635.5	2000	2.701E+08	15.3	1.672	0.0055	0.0055	17.325	5.961	23.286	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.038E+08	15.3	1.262	0.0041	0.0044	13.981	2.528	16.509	4 D.25	19.640		
As. D	BI.4	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.260E+08	15.3	2.637	0.0088	0.0088	28.084	1.818	29.902	7 D.25	34.370	18.785	
		50	70	Lap.	635.5	2000	2.715E+08	15.3	1.681	0.0055	0.0055	17.419	4.915	22.334	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.341E+08	15.3	1.449	0.0047	0.0047	14.926	1.818	16.743	4 D.25	19.640		
As. E	BI.5	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.259E+08	15.3	2.636	0.0088	0.0088	28.077	2.172	30.248	7 D.25	34.370	18.785	
		50	70	Lap.	635.5	2000	2.715E+08	15.3	1.681	0.0055	0.0055	17.419	4.918	22.337	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.350E+08	15.3	1.455	0.0047	0.0047	14.985	2.172	17.157	4 D.25	19.640		
As. F	BI.6	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.682E+08	15.3	2.898	0.0098	0.0098	31.109	1.734	32.843	7 D.25	34.370	18.785	
		50	70	Lap.	635.5	2000	2.701E+08	15.3	1.672	0.0055	0.0055	17.325	4.596	21.921	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.035E+08	15.3	1.260	0.0041	0.0044	13.981	1.734	15.715	4 D.25	19.640		
As. G	BI.7	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.048E+08	15.3	2.506	0.0084	0.0084	26.583	2.075	28.659	6 D.25	29.460	18.785	
		50	70	Lap.	635.5	2000	2.364E+08	15.3	1.463	0.0047	0.0047	15.078	4.826	19.905	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.702E+08	15.3	1.054	0.0034	0.0044	13.981	2.075	16.056	4 D.25	19.640		
As. H	BI.8	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.534E+08	15.3	1.569	0.0051	0.0051	16.208	0.251	16.459	4 D.25	19.640		34.155
		50	70	Lap.	635.5	1100	1.460E+08	15.3	0.904	0.0029	0.0044	13.981	6.211	20.192	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.013E+08	15.3	0.627	0.0020	0.0044	13.981	0.251	14.232	4 D.25	19.640		

TABEL 7.1-B. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI ATAP

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ Penutup beton (d_c) = 40 mm $f_y = 320 \text{ MPa}$ Diameter begel = $\phi 12$ $x_1 = b - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Tebal pelat lantai = 100 mm

Av ada (dua kaki) = 226.286 mm² $y_1 = h - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Daerah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	$\phi \cdot V_c$ (N)	$\phi \cdot T_c$ (N mm)	$\phi \cdot V_s$ (N)	$\phi \cdot T_s$ (N mm)	Av/s (mm ² /mm)	At/s (mm ² /mm)	Avt/s (mm ² /mm)	S_{perlu} (mm)	ϵ_{max} (mm)	ϵ_{pasang} (mm)	Al (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As. A	BL.1	50	70	408	608	Tump	635.50	1.490E+05	2.987E+07	6.794E+04	2.724E+07	8.106E+04	2.63E+06	0.664	0.047	0.759	298	254	250	13.090
		50	70	408	608	Lap.	635.50	4.920E+04	2.987E+07	3.860E+04	4.687E+07	1.060E+04	0.00E+00	0.087	0.000	0.087	2605	254	250	24.982
As. B	BL.2	50	70	408	608	Tump	635.50	2.342E+05	6.062E+07	7.381E+04	3.821E+07	1.604E+05	2.24E+07	1.314	0.404	2.123	107	254	100	8.218
		50	70	408	608	Lap.	635.50	8.310E+04	6.062E+07	5.425E+04	7.914E+07	2.885E+04	0.00E+00	0.236	0.000	0.236	957	254	250	19.528
As. C	BL.3	50	70	408	608	Tump	635.50	2.755E+05	6.062E+07	7.510E+04	3.305E+07	2.004E+05	2.76E+07	1.642	0.498	2.638	86	254	80	10.111
		50	70	408	608	Lap.	635.50	9.080E+04	6.062E+07	5.672E+04	7.574E+07	3.408E+04	0.00E+00	0.279	0.000	0.279	810	254	250	23.844
As. D	BL.4	50	70	408	608	Tump	635.50	2.667E+05	6.062E+07	7.487E+04	3.403E+07	1.918E+05	2.66E+07	1.572	0.480	2.532	89	254	80	7.270
		50	70	408	608	Lap.	635.50	8.210E+04	6.062E+07	5.390E+04	7.960E+07	2.820E+04	0.00E+00	0.231	0.000	0.231	979	254	250	19.660
As. E	BL.5	50	70	408	608	Tump	635.50	2.434E+05	6.062E+07	7.415E+04	3.693E+07	1.693E+05	2.37E+07	1.387	0.427	2.242	101	254	100	8.686
		50	70	408	608	Lap.	635.50	8.200E+04	6.062E+07	5.387E+04	7.964E+07	2.813E+04	0.00E+00	0.231	0.000	0.231	981	254	250	19.674
As. F	BL.6	50	70	408	608	Tump	635.50	2.769E+05	6.062E+07	7.513E+04	3.290E+07	2.018E+05	2.77E+07	0.521	0.500	1.521	149	254	140	6.935
		50	70	408	608	Lap.	635.50	9.220E+04	6.062E+07	5.714E+04	7.514E+07	3.506E+04	0.00E+00	0.521	0.000	0.521	434	254	250	18.383
As. G	BL.7	50	70	408	608	Tump	635.50	2.358E+05	6.062E+07	7.387E+04	3.798E+07	1.619E+05	2.26E+07	1.327	0.409	2.144	106	254	100	8.302
		50	70	408	608	Lap.	635.50	8.480E+04	6.062E+07	5.482E+04	7.838E+07	2.998E+04	0.00E+00	0.246	0.000	0.246	921	254	250	19.306
As. H	BL.8	50	70	408	608	Tump	635.50	1.498E+05	2.987E+07	6.803E+04	2.713E+07	8.177E+04	2.74E+06	0.670	0.049	0.769	294	254	250	1.004
		50	70	408	608	Lap.	635.50	4.990E+04	2.987E+07	3.902E+04	4.671E+07	1.088E+04	0.00E+00	0.089	0.000	0.089	2537	254	250	24.845

TABEL 7.1-C. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI ATAP

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 100 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Tulangan utama = D.25

Diameter begel = ϕ 12 $\rho_{bal} = 0.0362$ $\rho_{max} = 0.027$ $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b _g (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As.1	BL.9	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.523E+08	15.3	2.181	0.0072	0.0072	22.920	3.453	26.373	6 D.25	29.460		28.900
		50	70	Lap.	635.5	1040	1.864E+08	15.3	1.154	0.0037	0.0044	13.981	5.183	19.164	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	5.500E+07	15.3	0.340	0.0011	0.0044	13.981	3.453	17.434	4 D.25	19.640		
As.1	BL.10	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.055E+08	15.3	1.272	0.0041	0.0044	13.981	0.110	14.091	4 D.25	19.640		40.971
		50	70	Lap.	635.5	917	3.090E+07	15.3	0.191	0.0006	0.0044	13.981	6.241	20.222	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.000E+07	15.3	0.124	0.0004	0.0044	13.981	0.110	14.091	4 D.25	19.640		
As.1	BL.11	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.512E+08	15.3	4.031	0.0141	0.0141	44.876	1.910	46.786	10 D.25	49.100		61.479
		50	70	Lap.	635.5	1100	5.560E+08	15.3	3.442	0.0118	0.0118	37.575	2.998	40.573	9 D.25	44.190		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.852E+08	15.3	1.765	0.0058	0.0058	18.340	1.910	20.251	5 D.25	24.550		
As.2	BL.12	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.893E+08	15.3	1.791	0.0059	0.0059	18.617	3.453	22.070	5 D.25	24.550	18.496	
		50	70	Lap.	635.5	1625	7.220E+07	15.3	0.447	0.0014	0.0044	13.981	5.183	19.164	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	6.840E+07	15.3	0.423	0.0013	0.0044	13.981	3.453	17.434	4 D.25	19.640		
As.2	BL.13	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.203E+08	15.3	1.364	0.0044	0.0044	14.014	0.447	14.461	4 D.25	19.640	30.056	
		50	70	Lap.	635.5	1250	3.020E+07	15.3	0.187	0.0006	0.0044	13.981	5.628	19.609	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.940E+07	15.3	0.120	0.0004	0.0044	13.981	0.447	14.428	4 D.25	19.640		
As.2	BL.14	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.791E+08	15.3	4.204	0.0148	0.0148	47.079	0.618	47.697	10 D.25	49.100	33.813	
		50	70	Lap.	635.5	2000	5.667E+08	15.3	3.508	0.0121	0.0121	38.380	2.937	41.317	9 D.25	44.190		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.063E+08	15.3	1.896	0.0062	0.0062	19.768	0.618	20.387	5 D.25	24.550		

TABEL 7.1-D. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI ATAP

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

Penutup beton (d_c) = 40 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Diameter begel = $\phi 12$

$x_1 = b - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

Tebal pelat lantai = 100 mm

$A_v \text{ ada (dua kaki) } = 226.286 \text{ mm}^2$

$y_1 = h - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Daerah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	$\phi.V_c$ (N)	$\phi.T_c$ (N mm)	$\phi.V_s$ (N)	$\phi.T_s$ (N mm)	A_v/s (mm ² /mm)	A_t/s (mm ² /mm)	A_{vt}/s (mm ² /mm)	s_{perlu} (mm)	s_{max} (mm)	s_{pasang} (mm)	Al (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As.1	BL9	50	70	408	608	Tump	635.50	1.394E+05	2.844E+07	6.673E+04	2.722E+07	7.267E+04	1.21E+06	0.596	0.022	0.639	354	254	250	13.812
		50	70	408	608	Lap.	635.50	7.440E+04	2.844E+07	5.103E+04	3.901E+07	2.337E+04	0.00E+00	0.192	0.000	0.192	1181	254	250	20.731
As.1	BL10	50	70	408	608	Tump	635.50	1.402E+05	2.579E+07	6.684E+04	2.459E+07	7.336E+04	1.20E+06	0.601	0.022	0.645	351	254	250	0.440
		50	70	408	608	Lap.	635.50	4.930E+04	2.579E+07	3.866E+04	4.045E+07	1.064E+04	0.00E+00	0.087	0.000	0.087	2596	254	250	24.962
As.1	BL11	50	70	408	608	Tump	635.50	5.137E+05	2.987E+07	7.768E+04	9.033E+06	4.360E+05	2.08E+07	3.573	0.376	4.326	52	254	50	7.641
		50	70	408	608	Lap.	635.50	2.033E+05	2.987E+07	7.237E+04	2.127E+07	1.309E+05	8.60E+06	1.073	0.155	1.384	164	254	250	11.990
As.2	BL12	50	70	408	608	Tump	635.50	1.394E+05	4.563E+07	6.673E+04	4.369E+07	7.267E+04	1.94E+06	0.596	0.035	0.666	340	254	250	13.812
		50	70	408	608	Lap.	635.50	7.440E+04	4.563E+07	5.103E+04	6.259E+07	2.337E+04	0.00E+00	0.192	0.000	0.192	1181	254	250	20.731
As.2	BL13	50	70	408	608	Tump	635.50	1.621E+05	3.373E+07	6.933E+04	2.885E+07	9.277E+04	4.88E+06	0.760	0.088	0.936	242	254	240	1.788
		50	70	408	608	Lap.	635.50	6.290E+04	3.373E+07	4.598E+04	4.930E+07	1.692E+04	0.00E+00	0.139	0.000	0.139	1631	254	250	22.513
As.2	BL14	50	70	408	608	Tump	635.50	4.964E+05	6.062E+07	7.760E+04	1.895E+07	4.188E+05	4.17E+07	0.521	0.752	2.025	112	254	110	2.473
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.690E+05	6.062E+07	6.997E+04	5.019E+07	9.903E+04	1.04E+07	0.521	0.188	0.897	252	254	250	11.749

TABEL 7.2-A. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI 9 - 10

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (dc) = 40 mm

Tulangan utama = D.25

Diameter begel = $\phi 12$ $\rho_{bal} = 0.0362$ $\rho_{max} = 0.027$ $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b_g (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm^2)	Al perlu (cm^2)	As total (cm^2)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm^2)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As. A	BI.15	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.447E+08	15.3	2.134	0.0070	0.0070	22.395	2.412	24.808	6 D.25	29.460		25.755
		50	70	Lap.	635.5	1167	2.069E+08	15.3	1.281	0.0041	0.0044	13.981	4.993	18.974	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.460E+08	15.3	0.904	0.0029	0.0044	13.981	2.412	16.393	4 D.25	19.640		
As. B	BI.16	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.678E+08	15.3	3.515	0.0121	0.0121	38.463	3.488	41.950	9 D.25	44.190	22.542	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.474E+08	15.3	2.150	0.0071	0.0071	22.581	3.942	26.523	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.106E+08	15.3	1.923	0.0063	0.0063	20.061	3.488	23.548	5 D.25	24.550		
As. C	BI.17	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.682E+08	15.3	4.136	0.0145	0.0145	46.214	3.935	50.150	11 D.25	54.010	18.785	
		50	70	Lap.	635.5	2000	2.990E+08	15.3	1.851	0.0061	0.0061	19.273	5.022	24.295	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.899E+08	15.3	2.414	0.0080	0.0080	25.536	3.935	29.471	7 D.25	34.370		
As. D	BI.18	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.315E+08	15.3	3.909	0.0136	0.0136	43.339	0.986	44.324	10 D.25	49.100	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.085E+08	15.3	2.529	0.0084	0.0084	26.844	4.472	31.317	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.563E+08	15.3	2.206	0.0073	0.0073	23.196	0.986	24.182	5 D.25	24.550		
As. E	BI.19	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.325E+08	15.3	3.915	0.0137	0.0137	43.416	3.891	47.307	10 D.25	49.100	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.086E+08	15.3	2.529	0.0085	0.0085	26.851	4.493	31.344	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.592E+08	15.3	2.224	0.0074	0.0074	23.397	3.891	27.288	6 D.25	29.460		
As. F	BI.20	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.941E+08	15.3	4.297	0.0152	0.0152	48.275	0.899	49.174	11 D.25	54.010	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.251E+08	15.3	2.631	0.0088	0.0088	28.020	3.638	31.658	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.188E+08	15.3	1.973	0.0065	0.0065	20.619	0.899	21.518	5 D.25	24.550		
As. G	BI.21	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.939E+08	15.3	3.676	0.0127	0.0127	40.443	3.576	44.019	9 D.25	44.190	22.542	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.680E+08	15.3	2.278	0.0076	0.0076	24.008	3.678	27.686	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.776E+08	15.3	1.718	0.0056	0.0056	17.829	3.576	21.404	5 D.25	24.550		
As. H	BI.22	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.472E+08	15.3	2.149	0.0071	0.0071	22.568	0.941	23.508	5 D.25	24.550	32.194	
		50	70	Lap.	635.5	1167	2.069E+08	15.3	1.281	0.0041	0.0044	13.981	5.125	19.106	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.646E+08	15.3	1.019	0.0033	0.0044	13.981	0.941	14.922	4 D.25	19.640		

TABEL 7.2-B. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI 9 - 10

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Diameter begel = $\phi 12$

A_v ada (dua kaki) = 226.286 mm²

$x_1 = b - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

$y_1 = h - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Dasrah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	ϕV_c (N)	ϕT_c (N mm)	ϕV_s (N)	ϕT_s (N mm)	A_v/s (mm ² /mm)	A_t/s (mm ² /mm)	A_v/s (mm ² /mm)	s_{perm} (mm)	s_{max} (mm)	s_{pasang} (mm)	Al (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As. A	BL15	50	70	408	608	Tump	635.50	2.075E+05	3.398E+07	7.260E+04	2.378E+07	1.349E+05	1.02E+07	1.106	0.184	1.474	154	254	150	9.650
		50	70	408	608	Lap.	635.50	7.980E+04	3.398E+07	5.308E+04	4.521E+07	2.672E+04	0.00E+00	0.219	0.000	0.219	1033	254	250	19.971
As. B	BL16	50	70	408	608	Tump	635.50	3.409E+05	6.889E+07	7.632E+04	3.085E+07	2.646E+05	3.80E+07	2.168	0.687	3.541	64	254	60	13.950
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.167E+05	6.889E+07	6.303E+04	7.441E+07	5.367E+04	0.00E+00	0.440	0.000	0.440	514	254	250	15.767
As. C	BL17	50	70	408	608	Tump	635.50	4.089E+05	6.889E+07	7.705E+04	2.596E+07	3.318E+05	4.29E+07	2.720	0.775	4.269	53	254	50	15.741
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.274E+05	6.889E+07	6.494E+04	7.023E+07	6.246E+04	0.00E+00	0.512	0.000	0.512	442	254	250	20.090
As. D	BL18	50	70	408	608	Tump	635.50	4.007E+05	6.889E+07	7.698E+04	2.647E+07	3.237E+05	4.24E+07	2.653	0.766	4.184	54	254	50	3.942
		50	70	408	608	Lap.	635.50	9.640E+04	6.889E+07	5.833E+04	8.337E+07	3.807E+04	0.00E+00	0.312	0.000	0.312	725	254	250	17.889
As. E	BL19	50	70	408	608	Tump	635.50	4.010E+05	6.889E+07	7.699E+04	2.645E+07	3.240E+05	4.24E+07	2.656	0.766	4.187	54	254	50	15.562
		50	70	408	608	Lap.	635.50	9.570E+04	6.889E+07	5.814E+04	8.370E+07	3.756E+04	0.00E+00	0.308	0.000	0.308	735	254	250	17.970
As. F	BL20	50	70	408	608	Tump	635.50	4.205E+05	6.889E+07	7.714E+04	2.528E+07	3.434E+05	4.36E+07	0.521	0.787	2.095	108	254	100	3.594
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.303E+05	6.889E+07	6.541E+04	6.916E+07	6.489E+04	0.00E+00	0.521	0.000	0.521	434	254	250	14.551
As. G	BL21	50	70	408	608	Tump	635.50	3.526E+05	6.889E+07	7.648E+04	2.988E+07	2.761E+05	3.90E+07	2.263	0.704	3.671	62	254	60	14.304
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.284E+05	6.889E+07	6.510E+04	6.986E+07	6.330E+04	0.00E+00	0.519	0.000	0.519	436	254	250	14.712
As. H	BL22	50	70	408	608	Tump	635.50	2.081E+05	3.398E+07	7.263E+04	2.372E+07	1.355E+05	1.03E+07	1.110	0.185	1.481	153	254	150	3.763
		50	70	408	608	Lap.	635.50	7.600E+04	3.398E+07	5.165E+04	4.619E+07	2.435E+04	0.00E+00	0.200	0.000	0.200	1134	254	250	20.501

TABEL 7.2-C. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI 9 - 10

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (dc) = 40 mm

Tulangan utama = D.25

Diameter begel = $\phi 12$ $\rho_{bal} = 0.0362$ $\rho_{max} = 0.027$ $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b_x (mm)	M_u (N mm)	m	R_n (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	A_s perlu (cm^2)	A_l perlu (cm^2)	A_s total (cm^2)	Pakai tulangan lentur	A_s terpasang (cm^2)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As.1	BI.23	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.710E+08	15.3	1.678	0.0055	0.0055	17.385	2.630	20.015	5 D.25	24.550		28.900
		50	70	Lap.	635.5	1040	1.420E+08	15.3	0.879	0.0028	0.0044	13.981	3.669	17.650	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.157E+08	15.3	0.716	0.0023	0.0044	13.981	2.630	16.611	4 D.25	19.640		
As.1	BI.24	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-1.715E+08	15.3	1.062	0.0034	0.0044	13.981	0.065	14.046	4 D.25	19.640		32.777
		50	70	Lap.	635.5	917	4.210E+07	15.3	0.261	0.0008	0.0044	13.981	2.578	16.559	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	8.210E+07	15.3	0.508	0.0016	0.0044	13.981	0.065	14.046	4 D.25	19.640		
As.1	BI.25	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.877E+08	15.3	3.638	0.0126	0.0126	39.971	1.725	41.696	9 D.25	44.190		38.633
		50	70	Lap.	635.5	1167	3.187E+08	15.3	1.973	0.0065	0.0065	20.613	5.081	25.694	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.854E+08	15.3	1.767	0.0058	0.0058	18.354	1.725	20.079	5 D.25	24.550		
As.2	BI.26	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.849E+08	15.3	3.002	0.0102	0.0102	32.320	1.317	33.637	7 D.25	34.370	23.120	
		50	70	Lap.	635.5	1625	2.606E+08	15.3	1.613	0.0053	0.0053	16.689	3.408	20.097	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.693E+08	15.3	1.048	0.0034	0.0044	13.981	1.317	15.298	4 D.25	19.640		
As.2	BI.27	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.683E+08	15.3	1.661	0.0054	0.0054	17.204	1.181	18.385	4 D.25	19.640	30.056	
		50	70	Lap.	635.5	1250	7.690E+07	15.3	0.476	0.0015	0.0044	13.981	2.384	16.365	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.134E+08	15.3	0.702	0.0022	0.0044	13.981	1.181	15.162	4 D.25	19.640		
As.2	BI.28	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.169E+08	15.3	3.819	0.0133	0.0133	42.208	0.938	43.146	9 D.25	44.190	22.542	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.811E+08	15.3	2.359	0.0078	0.0078	24.920	2.686	27.606	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.127E+08	15.3	1.936	0.0064	0.0064	20.204	0.938	21.141	5 D.25	24.550		

TABEL 7.2-D. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI 9 - 10

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Diameter begel = $\phi 12$

A_v ada (dua kaki) = 226.286 mm²

$x_1 = b - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

$y_1 = h - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Daerah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	ϕV_c (N)	ϕT_c (N mm)	ϕV_s (N)	ϕT_s (N mm)	A_v/s (mm ² /mm)	A_t/s (mm ² /mm)	A_{vt}/s (mm ² /mm)	s_{perlu} (mm)	s_{maks} (mm)	s_{pasang} (mm)	Al (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As.1	BL23	50	70	408	608	Tump	635.50	1.903E+05	3.031E+07	7.159E+04	2.280E+07	1.187E+05	7.51E+06	0.973	0.135	1.244	182	254	180	10.520
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.288E+05	3.031E+07	6.517E+04	3.067E+07	6.363E+04	-3.62E+05	0.522	-0.007	0.508	445	254	250	14.678
As.1	BL24	50	70	408	608	Tump	635.50	1.361E+05	2.711E+07	6.627E+04	2.640E+07	6.983E+04	7.09E+05	0.572	0.013	0.598	378	254	250	0.260
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.942E+05	2.711E+07	7.184E+04	2.006E+07	1.224E+05	7.05E+06	1.003	0.127	1.257	180	254	180	10.314
As.1	BL25	50	70	408	608	Tump	635.50	3.421E+05	3.398E+07	7.634E+04	1.517E+07	2.658E+05	1.88E+07	2.178	0.340	2.857	79	254	70	6.900
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.247E+05	3.398E+07	6.449E+04	3.515E+07	6.021E+04	0.00E+00	0.493	0.000	0.493	459	254	250	20.326
As.2	BL26	50	70	408	608	Tump	635.50	3.372E+05	5.092E+07	7.627E+04	2.304E+07	2.609E+05	2.79E+07	2.138	0.503	3.145	72	254	70	5.268
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.417E+05	5.092E+07	6.704E+04	4.818E+07	7.466E+04	2.74E+06	0.612	0.049	0.711	318	254	250	13.634
As.2	BL27	50	70	408	608	Tump	635.50	2.267E+05	3.665E+07	7.351E+04	2.377E+07	1.532E+05	1.29E+07	1.256	0.232	1.720	132	254	130	4.724
		50	70	408	608	Lap.	635.50	2.099E+05	3.665E+07	7.273E+04	2.540E+07	1.372E+05	1.13E+07	1.124	0.203	1.530	148	254	140	9.536
As.2	BL28	50	70	408	608	Tump	635.50	4.114E+05	6.889E+07	7.707E+04	2.581E+07	3.343E+05	4.31E+07	0.521	0.777	2.076	109	254	100	3.751
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.862E+05	6.889E+07	7.131E+04	5.276E+07	1.149E+05	1.61E+07	0.521	0.291	1.103	205	254	200	10.742

TABEL 7.3-A. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI 3 - 8

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm
 Tulangan utama = D.25
 Diameter begel = $\phi 12$

$\rho_{bal} = 0.0362$
 $\rho_{max} = 0.027$
 $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b _g (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As. A	BL.29	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.254E+08	15.3	2.014	0.0066	0.0066	21.070	2.471	23.541	5 D.25	24.550		25.755
		50	70	Lap.	635.5	1167	2.069E+08	15.3	1.281	0.0041	0.0044	13.981	4.681	18.662	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.242E+08	15.3	0.769	0.0024	0.0044	13.981	2.471	16.452	4 D.25	19.640		
As. B	BL.30	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.374E+08	15.3	3.327	0.0114	0.0114	36.185	3.427	39.612	9 D.25	44.190	22.542	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.474E+08	15.3	2.150	0.0071	0.0071	22.581	3.828	26.409	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.735E+08	15.3	1.693	0.0055	0.0055	17.553	3.427	20.980	5 D.25	24.550		
As. C	BL.31	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.341E+08	15.3	3.925	0.0137	0.0137	43.541	3.887	47.428	10 D.25	49.100	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.056E+08	15.3	2.511	0.0084	0.0084	26.640	4.999	31.639	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.230E+08	15.3	1.999	0.0066	0.0066	20.906	3.887	24.793	6 D.25	29.460		
As. D	BL.32	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.064E+08	15.3	3.754	0.0130	0.0130	41.400	1.017	42.417	9 D.25	44.190	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.068E+08	15.3	2.518	0.0084	0.0084	26.724	4.048	30.773	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.274E+08	15.3	2.027	0.0067	0.0067	21.207	1.017	22.224	5 D.25	24.550		
As. E	BL.33	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.069E+08	15.3	3.757	0.0130	0.0130	41.439	3.851	45.289	10 D.25	49.100	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.069E+08	15.3	2.519	0.0084	0.0084	26.731	4.068	30.800	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.277E+08	15.3	2.029	0.0067	0.0067	21.228	3.851	25.078	6 D.25	29.460		
As. F	BL.34	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-6.582E+08	15.3	4.074	0.0143	0.0143	45.426	0.937	46.363	10 D.25	49.100	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.252E+08	15.3	2.632	0.0088	0.0088	28.027	3.538	31.566	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.436E+08	15.3	2.127	0.0070	0.0070	22.320	0.937	23.256	5 D.25	24.550		
As. G	BL.35	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.614E+08	15.3	3.475	0.0120	0.0120	37.981	3.515	41.495	9 D.25	44.190	22.542	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.680E+08	15.3	2.278	0.0076	0.0076	24.008	3.715	27.722	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.731E+08	15.3	1.691	0.0055	0.0055	17.526	3.515	21.041	5 D.25	24.550		
As. H	BL.36	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.271E+08	15.3	2.025	0.0067	0.0067	21.187	0.895	22.082	5 D.25	24.550		32.194
		50	70	Lap.	635.5	1167	2.069E+08	15.3	1.281	0.0041	0.0044	13.981	4.866	18.847	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.034E+08	15.3	0.640	0.0020	0.0044	13.981	0.895	14.876	4 D.25	19.640		

TABEL 7.3-B. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI 3 -8

 $f'_c = 24.6 \text{ MPa}$ Penutup beton (d_c) = 40 mm $f_y = 320 \text{ MPa}$ Diameter begel = $\phi 12$ $x_1 = b - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

 $A_v \text{ ada (dua kaki)} = 226.286 \text{ mm}^2$ $y_1 = h - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1	y_1	Daerah	d	V_u	T_u	ϕV_c	ϕT_c	ϕV_a	ϕT_a	A_v/s	A_t/s	A_vt/s	s_{pda}	s_{max}	s_{pasang}	Al
		b	h																	
		(cm)	(cm)	(mm)	(mm)		(mm)	(N)	(N mm)	(N)	(N mm)	(N)	(N mm)	(mm ² /mm)	(mm ² /mm)	(mm ² /mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ²)
As. A	BL29	50	70	408	608	Tump	635.50	2.027E+05	3.398E+07	7.234E+04	2.425E+07	1.304E+05	9.73E+06	1.068	0.176	1.419	159	254	150	9.883
		50	70	408	608	Lap.	635.50	8.940E+04	3.398E+07	5.630E+04	4.280E+07	3.310E+04	0.00E+00	0.271	0.000	0.271	834	254	250	18.724
As. B	BL30	50	70	408	608	Tump	635.50	3.333E+05	6.889E+07	7.621E+04	3.150E+07	2.571E+05	3.74E+07	2.107	0.675	3.456	65	254	60	13.709
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.216E+05	6.889E+07	6.395E+04	7.245E+07	5.765E+04	0.00E+00	0.472	0.000	0.472	479	254	250	15.312
As. C	BL31	50	70	408	608	Tump	635.50	4.004E+05	6.889E+07	7.698E+04	2.649E+07	3.234E+05	4.24E+07	2.651	0.765	4.181	54	254	50	15.548
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.285E+05	6.889E+07	6.512E+04	6.982E+07	6.338E+04	0.00E+00	0.519	0.000	0.519	436	254	250	19.995
As. D	BL32	50	70	408	608	Tump	635.50	3.940E+05	6.889E+07	7.692E+04	2.690E+07	3.171E+05	4.20E+07	2.599	0.758	4.114	55	254	50	4.066
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.123E+05	6.889E+07	6.214E+04	7.624E+07	5.016E+04	0.00E+00	0.411	0.000	0.411	550	254	250	16.194
As. E	BL33	50	70	408	608	Tump	635.50	3.942E+05	6.889E+07	7.692E+04	2.689E+07	3.173E+05	4.20E+07	2.600	0.758	4.116	55	254	50	15.403
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.115E+05	6.889E+07	6.198E+04	7.658E+07	4.952E+04	0.00E+00	0.406	0.000	0.406	558	254	250	16.273
As. F	BL34	50	70	408	608	Tump	635.50	4.116E+05	6.889E+07	7.707E+04	2.580E+07	3.345E+05	4.31E+07	0.521	0.778	2.076	109	254	100	3.747
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.351E+05	6.889E+07	6.613E+04	6.744E+07	6.897E+04	0.00E+00	0.521	0.000	0.521	434	254	250	14.154
As. G	BL35	50	70	408	608	Tump	635.50	3.444E+05	6.889E+07	7.637E+04	3.055E+07	2.680E+05	3.83E+07	2.197	0.692	3.580	63	254	60	14.058
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.267E+05	6.889E+07	6.483E+04	7.049E+07	6.187E+04	0.00E+00	0.507	0.000	0.507	446	254	250	14.859
As. H	BL36	50	70	408	608	Tump	635.50	2.031E+05	3.398E+07	7.236E+04	2.421E+07	1.307E+05	9.77E+06	1.071	0.176	1.424	159	254	150	3.582
		50	70	408	608	Lap.	635.50	8.360E+04	3.398E+07	5.442E+04	4.424E+07	2.918E+04	0.00E+00	0.239	0.000	0.239	946	254	250	19.462

TABEL 7.3-C. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI 3 - 8

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Tulangan utama = D.25

Diameter begel = $\phi 12$ $\rho_{bal} = 0.0362$ $\rho_{max} = 0.027$ $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b_g (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm^2)	Al perlu (cm^2)	As total (cm^2)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm^2)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As.1	BL37	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.473E+08	15.3	1.531	0.0050	0.0050	15.802	2.729	18.531	4 D.25	19.640		28.900
		50	70	Lap.	635.5	1040	1.423E+08	15.3	0.881	0.0028	0.0044	13.981	2.688	16.669	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.121E+08	15.3	0.694	0.0022	0.0044	13.981	2.729	16.710	4 D.25	19.640		
As.1	BL38	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-1.430E+08	15.3	0.885	0.0028	0.0044	13.981	-0.015	13.966	4 D.25	19.640		32.777
		50	70	Lap.	635.5	917	4.120E+07	15.3	0.255	0.0008	0.0044	13.981	1.739	15.720	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	8.730E+07	15.3	0.540	0.0017	0.0044	13.981	-0.015	13.966	4 D.25	19.640		
As.1	BL39	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.496E+08	15.3	3.402	0.0117	0.0117	37.095	1.687	38.783	8 D.25	39.280		38.633
		50	70	Lap.	635.5	1167	3.182E+08	15.3	1.970	0.0065	0.0065	20.578	4.908	25.487	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.203E+08	15.3	1.364	0.0044	0.0044	14.014	1.687	15.701	4 D.25	19.640		
As.2	BL40	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.448E+08	15.3	2.753	0.0093	0.0093	29.425	1.392	30.817	7 D.25	34.370		23.120
		50	70	Lap.	635.5	1625	2.610E+08	15.3	1.616	0.0053	0.0053	16.716	3.378	20.094	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.323E+08	15.3	1.438	0.0047	0.0047	14.807	1.392	16.199	4 D.25	19.640		
As.2	BL41	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-2.314E+08	15.3	1.432	0.0046	0.0046	14.747	1.228	15.975	4 D.25	19.640		30.056
		50	70	Lap.	635.5	1250	7.600E+07	15.3	0.470	0.0015	0.0044	13.981	1.654	15.635	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.059E+08	15.3	0.656	0.0021	0.0044	13.981	1.228	15.209	4 D.25	19.640		
As.2	BL42	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.938E+08	15.3	3.676	0.0127	0.0127	40.436	0.964	41.400	9 D.25	44.190		22.542
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.806E+08	15.3	2.356	0.0078	0.0078	24.885	2.354	27.239	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.121E+08	15.3	1.932	0.0063	0.0063	20.163	0.964	21.127	5 D.25	24.550		

TABEL 7.3-D. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI 3 - 8

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mmDiameter begel = $\phi 12$ A_v ada (dua kaki) = 226.286 mm² $x_1 = b - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$ $y_1 = h - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Daerah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	ϕV_c (N)	ϕT_c (N mm)	ϕV_s (N)	ϕT_s (N mm)	A_v/s (mm ² /mm)	A_t/s (mm ² /mm)	A_{vt}/s (mm ² /mm)	s_{perl} (mm)	s_{max} (mm)	s_{pasang} (mm)	AI (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As.1	BL37	50	70	408	608	Tump	635.50	1.831E+05	3.031E+07	7.109E+04	2.354E+07	1.120E+05	6.77E+06	0.918	0.122	1.162	195	254	190	10.915
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.860E+05	3.031E+07	7.130E+04	2.324E+07	1.147E+05	7.07E+06	0.940	0.128	1.195	189	254	180 ✓	10.753
As.1	BL38	50	70	408	608	Tump	635.50	1.299E+05	2.711E+07	6.534E+04	2.728E+07	6.456E+04	-1.64E+05	0.529	-0.003	0.523	433	254	250	-0.060
		50	70	408	608	Lap.	635.50	2.762E+05	2.711E+07	7.512E+04	1.475E+07	2.011E+05	1.24E+07	1.648	0.223	2.094	108	254	100 ✓	6.957
As.1	BL39	50	70	408	608	Tump	635.50	3.325E+05	3.398E+07	7.620E+04	1.558E+07	2.563E+05	1.84E+07	2.101	0.332	2.765	82	254	80	6.750
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.328E+05	3.398E+07	6.579E+04	3.367E+07	6.701E+04	0.00E+00	0.549	0.000	0.549	412	254	250	19.634
As.2	BI40	50	70	408	608	Tump	635.50	3.250E+05	5.092E+07	7.609E+04	2.384E+07	2.489E+05	2.71E+07	2.040	0.489	3.017	75	254	70	5.568
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.433E+05	5.092E+07	6.724E+04	4.779E+07	7.606E+04	3.13E+06	0.623	0.057	0.736	307	254	250	13.512
As.2	BI41	50	70	408	608	Tump	635.50	2.324E+05	3.665E+07	7.374E+04	2.326E+07	1.587E+05	1.34E+07	1.300	0.242	1.784	127	254	120	4.911
		50	70	408	608	Lap.	635.50	2.871E+05	3.665E+07	7.537E+04	1.924E+07	2.117E+05	1.74E+07	1.735	0.314	2.363	96	254	90	6.617
As.2	BI42	50	70	408	608	Tump	635.50	4.054E+05	6.889E+07	7.702E+04	2.618E+07	3.284E+05	4.27E+07	0.521	0.771	2.062	110	254	110	3.857
		50	70	408	608	Lap.	635.50	2.125E+05	6.889E+07	7.286E+04	4.724E+07	1.396E+05	2.16E+07	0.521	0.391	1.302	174	254	170	9.415

TABEL 7.4-A. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI 1 - 2

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm
 Tulangan utama = D.25
 Diameter begel = $\phi 12$

$\rho_{bal} = 0.0362$
 $\rho_{max} = 0.027$
 $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b_g (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As. A	BI.43	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.345E+08	15.3	2.071	0.0068	0.0068	21.694	2.567	24.261	5 D.25	24.550		25.755
		50	70	Lap.	635.5	1167	2.071E+08	15.3	1.282	0.0041	0.0044	13.981	5.373	19.354	4 D.25	19.640		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.125E+08	15.3	0.696	0.0022	0.0044	13.981	2.567	16.548	4 D.25	19.640		
As. B	BI.44	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.884E+08	15.3	3.023	0.0103	0.0103	32.575	3.325	35.900	8 D.25	39.280	22.542	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.477E+08	15.3	2.152	0.0071	0.0071	22.602	4.410	27.012	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.559E+08	15.3	1.584	0.0052	0.0052	16.375	3.325	19.700	5 D.25	24.550		
As. C	BI.45	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.810E+08	15.3	3.597	0.0124	0.0124	39.462	3.809	43.270	9 D.25	44.190	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.051E+08	15.3	2.508	0.0084	0.0084	26.604	5.566	32.170	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.261E+08	15.3	2.019	0.0066	0.0066	21.118	3.809	24.927	6 D.25	29.460		
As. D	BI.46	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.997E+08	15.3	3.712	0.0129	0.0129	40.887	1.026	41.913	9 D.25	44.190	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.051E+08	15.3	2.508	0.0084	0.0084	26.604	4.340	30.945	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.143E+08	15.3	1.946	0.0064	0.0064	20.313	1.026	21.339	5 D.25	24.550		
As. E	BI.47	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.998E+08	15.3	3.713	0.0129	0.0129	40.894	3.837	44.731	10 D.25	49.100	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.051E+08	15.3	2.508	0.0084	0.0084	26.604	4.340	30.945	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.161E+08	15.3	1.957	0.0064	0.0064	20.435	3.837	24.272	5 D.25	24.550		
As. F	BI.48	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-5.820E+08	15.3	3.603	0.0124	0.0124	39.538	1.047	40.585	9 D.25	44.190	26.299	
		50	70	Lap.	635.5	2000	4.051E+08	15.3	2.508	0.0084	0.0084	26.604	4.206	30.811	7 D.25	34.370		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	3.335E+08	15.3	2.064	0.0068	0.0068	21.625	1.047	22.673	5 D.25	24.550		
As. G	BI.49	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-4.894E+08	15.3	3.030	0.0103	0.0103	32.648	3.328	35.976	8 D.25	39.280	22.542	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.477E+08	15.3	2.152	0.0071	0.0071	22.602	4.449	27.052	6 D.25	29.460		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	2.668E+07	15.3	0.165	0.0005	0.0044	13.981	3.328	17.309	4 D.25	19.640		
As. H	BI.50	50	70	Tump. (-)	635.5	500	-3.183E+08	15.3	1.970	0.0065	0.0065	20.585	0.820	21.406	5 D.25	24.550		32.194
		50	70	Lap.	635.5	1167	2.071E+08	15.3	1.282	0.0041	0.0044	13.981	5.530	19.511	5 D.25	24.550		
		50	70	Tump. (+)	635.5	500	1.288E+08	15.3	0.797	0.0025	0.0044	13.981	0.820	14.801	4 D.25	19.640		

TABEL 7.4-B. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI 1 - 2

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Diameter begel = $\phi 12$

A_v ada (dua kaki) = 226.286 mm²

$x_1 = b - 2 \cdot d_c - \phi$ begel

$y_1 = h - 2 \cdot d_c - \phi$ begel

Lajur	Tipe Balok	x		x_1	y_1	Daerah	d	V_u	T_u	ϕV_c	ϕT_c	ϕV_s	ϕT_s	A_v/s	A_t/s	A_{vt}/s	s_{pada}	s_{sum}	$s_{panjang}$	Al
		b (cm)	h (cm)																	
As. A	BL.43	50	70	408	608	Tump	635.50	1.951E+05	3.398E+07	7.189E+04	2.504E+07	1.232E+05	8.94E+06	1.010	0.161	1.332	170	254	170	10.267
		50	70	408	608	Lap.	635.50	6.930E+04	3.398E+07	4.890E+04	4.796E+07	2.040E+04	0.00E+00	0.167	0.000	0.167	1354	254	250	21.492
As. B	BL.44	50	70	408	608	Tump	635.50	3.211E+05	6.889E+07	7.602E+04	3.262E+07	2.451E+05	3.63E+07	2.009	0.655	3.318	68	254	60	13.300
		50	70	408	608	Lap.	635.50	9.860E+04	6.889E+07	5.892E+04	8.233E+07	3.968E+04	0.00E+00	0.325	0.000	0.325	696	254	250	17.639
As. C	BL.45	50	70	408	608	Tump	635.50	3.873E+05	6.889E+07	7.686E+04	2.734E+07	3.104E+05	4.15E+07	2.544	0.750	4.044	56	254	50	15.235
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.047E+05	6.889E+07	6.045E+04	7.954E+07	4.425E+04	0.00E+00	0.363	0.000	0.363	624	254	250	22.264
As. D	BL.46	50	70	408	608	Tump	635.50	3.919E+05	6.889E+07	7.690E+04	2.704E+07	3.150E+05	4.19E+07	2.582	0.755	4.092	55	254	50	4.106
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.011E+05	6.889E+07	5.957E+04	8.117E+07	4.153E+04	0.00E+00	0.340	0.000	0.340	665	254	250	17.361
As. E	BL.47	50	70	408	608	Tump	635.50	3.919E+05	6.889E+07	7.690E+04	2.704E+07	3.150E+05	4.19E+07	2.582	0.755	4.092	55	254	50	15.347
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.011E+05	6.889E+07	5.957E+04	8.117E+07	4.153E+04	0.00E+00	0.340	0.000	0.340	665	254	250	17.361
As. F	BL.48	50	70	408	608	Tump	635.50	3.875E+05	6.889E+07	7.686E+04	2.733E+07	3.106E+05	4.16E+07	0.521	0.750	2.021	112	254	110	4.190
		50	70	408	608	Lap.	635.50	1.061E+05	6.889E+07	6.078E+04	7.892E+07	4.532E+04	0.00E+00	0.521	0.000	0.521	434	254	250	16.824
As. G	BL.49	50	70	408	608	Tump	635.50	3.214E+05	6.889E+07	7.603E+04	3.259E+07	2.454E+05	3.63E+07	2.011	0.655	3.321	68	254	60	13.310
		50	70	408	608	Lap.	635.50	9.720E+04	6.889E+07	5.855E+04	8.299E+07	3.865E+04	0.00E+00	0.317	0.000	0.317	714	254	250	17.798
As. H	BL.50	50	70	408	608	Tump	635.50	1.952E+05	3.398E+07	7.190E+04	2.503E+07	1.233E+05	8.95E+06	1.011	0.161	1.334	170	254	170	3.282
		50	70	408	608	Lap.	635.50	6.530E+04	3.398E+07	4.711E+04	4.903E+07	1.819E+04	0.00E+00	0.149	0.000	0.149	1518	254	250	22.121

TABEL 7.4-C. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA BALOK INDUK LANTAI 1 - 2

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm
 Tulangan utama = D.25
 Diameter begel = $\phi 12$

$\rho_{bal} = 0.0362$
 $\rho_{max} = 0.027$
 $\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b_g (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm^2)	Al perlu (cm^2)	As total (cm^2)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm^2)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As.1	BI.51	50	70	Tump. (+)	635.5	500	-5.410E+08	15.3	3.349	0.0115	0.0115	36.45	1.95	38.41	8 D 25	39.28		28.90
		50	70	Lap.	635.5	1040	1.430E+08	15.3	0.885	0.0028	0.0044	13.98	3.54	17.52	4 D 25	19.64		
		50	70	Tump. (-)	635.5	500	2.049E+08	15.3	1.268	0.0041	0.0044	13.98	0.00	13.98	4 D 25	19.64		
As.1	BI.52	50	70	Tump. (+)	635.5	500	-5.339E+08	15.3	3.305	0.0113	0.0113	35.92	1.04	36.97	8 D 25	39.28		32.78
		50	70	Lap.	635.5	917	3.940E+07	15.3	0.244	0.0008	0.0044	13.98	2.71	16.70	4 D 25	19.64		
				Tump. (-)	635.5	500	3.763E+08	15.3	2.329	0.0077	0.0077	24.59	0.00	24.59	6 D 25	29.46		
As.1	BI.53	50	70	Tump. (+)	635.5	500	-5.118E+08	15.3	3.168	0.0108	0.0108	34.29	1.62	35.91	8 D 25	39.28		38.63
		50	70	Lap.	635.5	1167	3.187E+08	15.3	1.973	0.0065	0.0065	20.61	5.73	26.35	6 D 25	29.46		
				Tump. (-)	635.5	500	1.013E+08	15.3	0.627	0.0020	0.0044	13.98	0.00	13.98	4 D 25	19.64		
As.2	BI.54	50	70	Tump. (+)	635.5	500	-6.721E+08	15.3	4.160	0.0146	0.0146	46.52	1.21	47.73	10 D 25	49.10	23.12	
		50	70	Lap.	635.5	1625	2.620E+08	15.3	1.622	0.0053	0.0053	16.78	3.12	19.91	5 D 25	24.55		
					635.5	500	3.125E+08	15.3	1.934	0.0064	0.0064	20.19	0.00	20.19	5 D 25	24.55		
As.2	BI.55	50	70	Tump. (+)	635.5	500	-5.867E+08	15.3	3.632	0.0126	0.0126	39.89	1.86	41.76	9 D 25	44.19	30.06	
		50	70	Lap.	635.5	1250	7.400E+07	15.3	0.458	0.0014	0.0044	13.98	2.66	16.64	5 D 25	24.55		
					635.5	500	3.206E+08	15.3	1.985	0.0065	0.0065	20.74	0.00	20.74	5 D 25	24.55		
As.2	BI.56	50	70	Tump. (+)	635.5	500	-6.421E+08	15.3	3.975	0.0139	0.0139	44.16	1.01	45.18	10 D 25	49.10	22.54	
		50	70	Lap.	635.5	2000	3.803E+08	15.3	2.354	0.0078	0.0078	24.86	3.06	27.92	6 D 25	29.46		
					635.5	500	3.114E+08	15.3	1.928	0.0063	0.0063	20.12	0.00	20.12	5 D 25	29.46		

TABEL 7.4-D. PENULANGAN GESER DAN TORSI BALOK INDUK LANTAI 1 - 2

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 40 mm

Diameter begel = $\phi 12$

A_v ada (dua kaki) = 226.286 mm²

$x_1 = b - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

$y_1 = h - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Daerah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	ϕV_c (N)	ϕT_c (N mm)	ϕV_s (N)	ϕT_s (N mm)	A_v/s (mm ² /mm)	A_t/s (mm ² /mm)	A_v/t (mm ² /mm)	s_{pak} (mm)	v_{pak} (mm)	s_{pasang} (mm)	Al (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As.1	BI.51	50	70	408	608	Tump	635.5	2.513E+05	3.031E+07	7.441E+04	1.795E+07	1.769E+05	1.24E+07	1.450	0.223	1.896	119	254	110	7.81
		50	70	408	608	Lap.	635.5	1.352E+05	3.031E+07	6.614E+04	2.966E+07	6.906E+04	6.54E+05	0.566	0.012	0.590	384	254	250	14.15
As.1	BI.52	50	70	408	608	Tump	635.5	2.573E+05	2.711E+07	7.460E+04	1.572E+07	1.827E+05	1.14E+07	1.497	0.206	1.909	119	254	110	4.18
		50	70	408	608	Lap.	635.5	1.841E+05	2.711E+07	7.116E+04	2.096E+07	1.129E+05	6.15E+06	0.926	0.111	1.148	197	254	190	10.86
As.1	BI.53	50	70	408	608	Tump	635.5	3.172E+05	3.398E+07	7.596E+04	1.627E+07	2.412E+05	1.77E+07	1.977	0.320	2.616	86	254	80	6.49
		50	70	408	608	Lap.	635.5	9.860E+04	3.398E+07	5.892E+04	4.061E+07	3.968E+04	0.00E+00	0.325	0.000	0.325	696	254	250	22.93
As.2	BI.54	50	70	408	608	Tump	635.5	3.560E+05	5.092E+07	7.652E+04	2.189E+07	2.795E+05	2.90E+07	2.291	0.524	3.338	68	254	60	4.84
		50	70	408	608	Lap.	635.5	1.575E+05	5.092E+07	6.887E+04	4.453E+07	8.863E+04	6.39E+06	0.726	0.115	0.957	236	254	250	12.50
As.2	BI.55	50	70	408	608	Tump	635.5	3.424E+05	3.665E+07	7.634E+04	1.634E+07	2.661E+05	2.03E+07	2.181	0.366	2.913	78	254	70	7.45
		50	70	408	608	Lap.	635.5	1.883E+05	3.665E+07	7.145E+04	2.781E+07	1.168E+05	8.83E+06	0.958	0.159	1.277	177	254	170	10.63
As.2	BI.56	50	70	408	608	Tump	635.5	3.947E+05	6.889E+07	7.693E+04	2.685E+07	3.178E+05	4.20E+07	0.521	0.759	2.038	111	254	110	4.05
		50	70	408	608	Lap.	635.5	1.615E+05	6.889E+07	6.927E+04	5.910E+07	9.223E+04	9.79E+06	0.521	0.177	0.874	259	254	250	12.23

BAB VIII

PERENCANAAN KOLOM DAN DINDING GESER

Perencanaan kolom ini meliputi penulangan lentur kolom, kontrol terhadap *biaksial bending* kolom, penulangan geser kolom serta perencanaan pertemuan balok dan kolom.

Pedoman yang digunakan dalam perencanaan kolom ini antara lain : SK SNI T-15-1991-03, "*Reinforced Concrete Design*" oleh Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon edisi 4 dan grafik bantu interaksi M - N non dimensi dari ACI.

8.1. DASAR TEORI

Suatu komponen struktur yang menerima momen lentur dan aksial tekan secara serentak harus diperhitungkan sebagai *beam column* dengan mempertimbangkan pengaruh tekuk yang terjadi akibat kelangsingan komponen struktur tersebut.

Dengan adanya faktor tekuk akibat pengaruh kelangsingan ini, pada komponen struktur tekan dan lentur akan terjadi momen tambahan sebesar $M_o = P \cdot \Delta$, sehingga untuk suatu komponen struktur tekan dan lentur langsing, momen-momen pada ujung kolom harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran yang akan diuraikan pada ayat-ayat di bawah ini.

8.1.1. Panjang Tekuk Kolom

Penulangan lentur dan beban aksial untuk kolom harus ditinjau dari kombinasi beban yang menentukan hasil dari analisa struktur yang didapat dari bab sebelumnya. Dalam perhitungan terdapat perbedaan antara kolom pendek dan kolom panjang. Dalam perencanaan gedung ini kolom direncanakan sebagai kolom dengan pengaku (*braced frame*) karena adanya *shear wall*

sebagai pengkekang adanya goyangan ke samping dari struktur.

Panjang tekuk kolom adalah panjang bersih kolom antara pelat lantai atau balok di ujung-ujungnya yang dikalikan dengan suatu faktor tekuk (k) yang besarnya:

$$k \geq 1 \text{ untuk kolom tanpa pengaku samping (unbraced)}$$

$$k \leq 1 \text{ untuk kolom dengan pengaku samping (braced)}$$

Faktor tekuk (k) merupakan fungsi dari tingkat penjepitan ujung atas (ψ_A) dan tingkat penjepitan ujung bawah (ψ_B), dimana tingkat penjepitan ujung kolom tersebut diperoleh dengan persamaan :

$$\psi = \frac{\sum EI / Lu \text{ kolom}}{\sum EI / Lu \text{ balok}}$$

Faktor panjang efektif k dapat dicari dengan menggunakan grafik *alignment*. Grafik ini diperlihatkan pada Lampiran C. Dengan menarik garis lurus yang menghubungkan nilai-nilai ψ_A dan ψ_B , maka akan diperoleh harga k .

8.1.2. Pembatasan Penulangan Kolom

SKSNI T-15-1991-03 ayat 3.3.9 butir 1 menyebutkan bahwa rasio penulangan kolom disyaratkan agar tidak kurang dari 1% dan tidak lebih dari 8% dari luas bruto penampang kolom ($0,01 \leq \rho \leq 0,08$).

SK SNI T-15-1991-03 ayat 3.3.3 butir 5 mengatur bahwa kekuatan kolom hanya boleh diperhitungkan sebesar $\phi.P_n \leq 0,80 \phi.P_o$ (kolom bersengkang) dimana :

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Untuk mencari rasio tulangan lentur dipakai diagram interaksi M-N non dimensi dari ACI (*American Concrete Institute*). Diagram interaksi tersebut ditunjukkan dalam lampiran dibuat berdasarkan mutu beton dan mutu baja yang sudah ditentukan.

Untuk struktur yang dirancang dengan daktilitas dua maka SK SNI T-15-1991-03 ayat

3.14.9 butir 5 sub butir 1 membatasi rasio tulangan tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,06 dan 0,08 pada daerah sambungan.

Faktor reduksi yang dipakai harus sama dengan 0,65 baik untuk komponen struktur dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat, kecuali bila harga $0,1 f_c' A_g$ terhitung lebih besar dari ϕP_n , harga faktor reduksi bisa ditingkatkan secara linier menjadi 0,8.

Pembatasan rasio tulangan minimum ini ditujukan untuk mencegah terjadinya retak akibat rangkai (*creep*) yang terjadi pada beton, sedangkan pembatasan rasio tulangan maksimum didasarkan atas pertimbangan kesulitan pemasangan di lapangan.

Jumlah minimum batang tulangan memanjang kolom adalah 4 buah untuk kolom dengan sengkang pengikat segi empat dan 6 buah untuk kolom dengan pengikat spiral.

8.1.3. Kolom Pendek

Suatu unsur tekan dikatakan pendek, yaitu apabila unsur tersebut dibebani gaya aksial lebih besar dari kapasitasnya akan mengalami keruntuhan bahan (runtuhnya beton) sebelum mencapai ragam keruntuhan tekuknya. Oleh sebab itu untuk perencanaan struktur tekan pendek, bahaya akibat tekuk tidak perlu diperhitungkan.

Hal tersebut di atas terpenuhi apabila apabila perbandingan kelangsingan yaitu perbandingan panjang tekuk kolom ($k.L_u$) terhadap radius girasi (r) :

$$\frac{k.L_u}{r} < 34 - 12 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}}, \quad M_{2b} > M_{1b} \quad \dots \dots \dots (braced frame)$$

dimana :

- Nilai r dapat diambil sebesar $\sqrt{\frac{I}{A}}$ atau
 - = 0.3 h dalam arah momen yang ditinjau untuk kolom persegi, atau
 - = 0.25 d untuk kolom bulat (d = diameter kolom)

Perhitungan kolom pendek :

1. $e = M_u / P_u \geq e_{\min} = 0,1 h$
2. Dengan menggunakan diagram interaksi didapat ρ
3. Bila $e < e_{\min}$: $P_n \max = 0,80 P_o$
4. $P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$

Untuk kolom yang digolongkan sebagai kolom pendek, maka tidak akan timbul momen tambahan akibat lendutan kolom, sehingga pembesaran momen dapat diabaikan. Untuk golongan ini gaya-gaya yang dihasilkan dari perhitungan SAP 90 dapat langsung digunakan untuk merencanakan struktur.

8.1.4. Kolom Panjang

Apabila nilai perbandingan kelangsingan untuk kolom pendek di atas tidak terpenuhi, maka suatu komponen struktur tekan boleh dikatakan kolom panjang.

Kolom dengan perbandingan kelangsingan besar akan melendut ke samping (menekuk) sehingga timbul momen sekunder. Untuk itu dalam perhitungan kolom panjang diperlukan suatu faktor pembesaran momen yang harus diperhitungkan terhadap panjang tekuk kolom.

Perhitungan kolom panjang :

1. $M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s}$
2. $e_{\min} = (15 + 0,03.h) \text{ mm}$
3. Dengan menggunakan diagram interaksi didapat nilai ρ

Eksentrisitas kolom panjang adalah : $e_{\min} = (15 + 0,03.h) \text{ mm}$, dipakai sebagai dasar untuk *magnification* (pembesaran momen)

8.1.5. Faktor Pembesaran Momen Untuk Kolom Panjang

Di dalam peraturan ACI, perhitungan dari pengaruh kelangsingan dapat dideteksi dengan menggunakan cara pembesaran momen, dimana jumlah dari momen primer dan sekunder dikalikan

dengan suatu faktor pembesaran δ .

SK SNI T-15-1991-03 ayat 3.3.11 butir 5 menyebutkan bahwa apabila suatu kolom adalah kolom panjang, maka momen yang terjadi harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran menjadi :

$$M_c = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s} \quad \text{.....} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03, pers 3.3-6})$$

dimana :

$$- \delta_b = \frac{C_m}{1 - P_u / \phi P_c} \geq 1 \quad \text{.....} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03, pers 3.3-7})$$

$$- \delta_s = \frac{C_m}{1 - \Sigma P_u / \phi \Sigma P_c} \geq 1 \quad \text{.....} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03, pers 3.3-8})$$

$$- C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} > 0,4 \quad \text{.....} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03, pers 3.3-12})$$

Nilai M_{1b}/M_{2b} negatif untuk momen *double curvature*.

Untuk *unbraced frame* $C_m = 1$.

$$- P_c = \frac{\pi^2 E I}{(k L_n)^2} \quad \text{.....} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03, pers 3.3-9})$$

ΣP_u dan ΣP_c adalah penjumlahan dari semua kolom dalam satu tingkat.

$$- EI = \frac{0,2 E_c I_g + E_s I_s}{1 + \beta_d} \quad \text{.....} \quad (\text{SK SNI T-15-1991-03, pers 3.3-10})$$

$$= 0,3 E_c I_g \quad (\text{pendekatan})$$

$$- \text{Untuk } \textit{braced frame}, M_c = \delta_b M_{2b}.$$

Struktur menggunakan pengaku berupa dinding geser, sehingga perencanaan kolom menggunakan anggapan sebagai *braced frame*.

8.2. PROSEDUR PENULANGAN LENTUR KOLOM

Langkah-langkah untuk menghitung penulangan lentur kolom yang digunakan pada tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Jenis kolom adalah kolom *braced* karena terdapat dinding geser yang dapat dianggap mampu menahan ke arah lateral.
2. Tetapkan apakah kolom termasuk kolom pendek atau kolom panjang. Seperti telah dijelaskan di atas, bila termasuk kolom pendek maka tidak perlu dilakukan pembesaran momem, dan pula sebaliknya. Peninjauan kolom pendek atau kolom panjang dilakukan pada kedua arah sumbu global. Hal ini dilakukan sebagai langkah keamanan.
3. Momen yang telah diperoleh dari langkah 2, kemudian dihitung momen ekuivalensinya. Dimana momen dua arah (*biaxial*) dijadikan satu arah, ke arah yang kritis. Rumus yang digunakan ialah :

$$M_{ux} = M_{2sx} + M_{2sy} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{1-\beta}{\beta}$$

$$M_{uy} = M_{2sy} + M_{2sx} \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{1-\beta}{\beta}$$

Harga β berkisar antara 0,55 sampai dengan 0,65. Untuk disain lebih akurat biasa digunakan 0,65. Dari dua harga momen di atas dipilih yang terbesar untuk mendisain tulangan dengan bantuan diagram interaksi.

Diagram interaksi M - N tersebut dibuat berdasarkan bermacam-macam mutu beton dan mutu baja tulangan, sumbu ordinatnya menyatakan P_u dan sumbu absisnya menyatakan $M_u = M_c$ dengan rumus :

$$K_y = \frac{\phi P_u}{A_g} \quad \dots\dots\dots \text{Untuk sumbu ordinat (y)}$$

$$K_x = \frac{\phi M_u}{A_g \cdot h} \quad \dots\dots\dots \text{Untuk sumbu absis (x)}$$

Nilai P_n diperoleh dari hasil perhitungan SAP 90, sedangkan M_n diperoleh dari rumus di atas. Besarnya ρ perlu diperoleh dengan menarik garis sejajar sumbu x sebesar K_x yang

dipotongkan dengan garis sejajar sumbu y sebesar K_y . Diagram interaksi kolom dapat dilihat pada lampiran. Diagram tersebut berasal dari ACI

8.3. KONTROL DENGAN *BRESLER RECIPROCAL METHOD*

Bresler Reciprocal Method merupakan salah satu teori dalam pengecekan kolom yang mengalami momen dari dua arah (*biaxial bending*). Sebagai alat bantu digunakan diagram interaksi yang sama dengan yang digunakan untuk merencanakan tulangan lentur kolom di atas.

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Hitung harga e/h untuk masing-masing arah momen. Momen yang digunakan ialah momen yang dihasilkan dari langkah 2 perencanaan tulangan lentur kolom.
2. Dari harga e/h untuk masing-masing arah momen dan ρ yang digunakan, lalu titik pertemuannya diproyeksikan sejajar sumbu x untuk memperoleh harga $\frac{\phi P_n}{A_g}$. Maka harga P_n untuk arah x dan y dapat diperoleh.

Kekuatan penampang tekan yang memperoleh gaya aksial dan momen lentur dalam dua arah sumbu utamanya (momen biaksial) dapat dirumuskan sbb :

$$P_{nb} = \left(\frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}} \right)^{-1} \geq P_n \text{ ada}$$

dimana :

$$- P_{ob} = 0,8 \cdot \phi \cdot [0,85 f_c' (A_g - A_s) + A_s f_y]$$

..... (SK SNI T-15-1991-03, pers 3.1-2)

Dengan harga e_x/h , e_y/h dan ρ yang telah terpasang, maka nilai P_{ox} dan P_{oy} dapat dicari dengan diagram interaksi M - N dengan rumus :

$$P_{nx} = K_x \cdot A_g / 0,65$$

$$P_{ny} = K_y \cdot A_g / 0,65$$

dimana K_x dan K_y adalah konstanta yang didapat pada sumbu ordinat diagram interaksi $M - N$ untuk P_{nx} dan P_{ny} . Diagram interaksi dapat dilihat pada lampiran.

8.4. PENULANGAN GESER DAN TORSI KOLOM

Penulangan geser dan torsi pada kolom pada hakekatnya adalah sama dengan penulangan geser - torsi pada balok yang diatur dalam SK SNI T-15-1991-03, ayat 3.4.3 dan 3.4.6, hanya pada daerah ujung-ujung dari kolom harus mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan beton bertulang yang tahan gempa. Selain itu perbedaannya adalah pada kolom terdapat pengaruh gaya aksial sehingga kemampuan geser bertambah sebesar :

$$V_c = 0,5 \phi \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \quad b_w d$$

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan tulangan geser - torsi kolom adalah sebagai berikut :

1. Rasio tinggi antar kolom terhadap dimensi terkecil kolom tidak boleh lebih besar dari 25
2. Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal untuk memikul beban geser.
3. Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh lebih dari $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter sengkang dan 300 mm.
4. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
5. Pada daerah ujung sejauh d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton ($\phi \cdot V_c$) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.4.

6. Tulangan transversal harus dipasang dengan spasi tidak melebihi :
 - Setengah dari dimensi komponen struktur yang terkecil.
 - Lebih kecil atau sama dengan 10 kali diameter tulangan memanjang.
 - Lebih kecil atau sama dengan 200 mm.
7. Pada setiap muka join pada kedua sisi dari setiap penampang harus dipasang tulangan transversal dengan jumlah seperti ditentukan di atas sepanjang l_o dari muka yang ditinjau.

Panjang l_o tidak boleh kurang dari :

- Tinggi komponen dimensi struktur untuk $N_{u,k} \leq 0,3 A_g f_c'$
- Satu setengah kali tinggi kompoenen struktur untuk $N_{u,k} > 0,3 A_g f_c'$
- Seperempat bentang bersih dari komponen struktur
- 450 mm

Selanjutnya untuk langkah-langkah perhitungan penulangan geser - torsi pada kolom dapat dilihat pada Bab VII (Perencanaan Balok Induk).

Berikut ini adalah contoh perhitungan penulangan kolom. Sebagai contoh perhitungan diambil kolom tepi lantai 1 As. D (1.C1) dengan data perencanaan sbb :

- Ukuran kolom = $80 \times 80 \text{ cm}^2$
- Mutu beton = K 300, $f_c' = 24,6 \text{ MPa}$
- Mutu baja = U_{32} , $f_y = 320 \text{ MPa}$
- Decking = 50 mm
- Tulangan utama = D 25
- Sengkang = $\emptyset 12$
- Jari-jari girasi (r) = $0,3 h = 0,3 \times 800 = 240 \text{ mm}$
- Ukuran balok = $50 \times 70 \text{ cm}$, $f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

Dari analisa SAP 90 didapat gaya-gaya dalam pada kolom sebagai berikut :

♦ Arah x

$$M_{1b} = -58,5 \text{ kNm}, \quad M_{2b} = 138,5 \text{ kNm},$$

$$M_{2sx} = 385,4 \text{ kNm}$$

♦ Arah y

$$M_{1b} = -35,8 \text{ kNm}, \quad M_{2b} = 103,8 \text{ kNm},$$

$$M_{2sy} = 980,3 \text{ kNm}$$

$$♦ V_u = 274,9 \text{ kN.}$$

$$♦ P_u = 5279 \text{ kN.}$$

A. Penulangan lentur kolom☐ Kontrol kelangsingan kolom

Kelangsingan kolom ditinjau dalam arah x dan arah y. Pada contoh perhitungan ini ditinjau arah x.

Kolom ditahan terhadap goyangan ke samping (*braced frame*).

$$\text{- Faktor tekuk } k = 1$$

$$\begin{aligned} \text{- Nilai kelangsingan} &= \frac{k L_u}{r} = \frac{1 \cdot (2300)}{240} \\ &= 9,58. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Batas kelangsingan} &= 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} = 34 - 12 \frac{58,5}{138,5} \\ &= 28,93. \end{aligned}$$

Nilai kelangsingan < batas kelangsingan, maka termasuk jenis kolom pendek. Jadi pengaruh tekuk dapat diabaikan.

Harga momen hasil perhitungan SAP 90 dapat langsung digunakan. Dipilih momen arah x dan y yang menentukan, yaitu :

$$M_{1b} x = -58,5 \text{ kNm}, M_{2b} y = 138,5 \text{ kNm}.$$

□ Perhitungan titik absis dan ordinat pada diagram M - N

$$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$h = 800 \text{ mm}, \quad \gamma \cdot h = 300 \text{ mm}, \quad \gamma = 0,75.$$

$$MuX = 385,4 + 980,3 \times (1) \times (1 - 0,65) / 0,65 = 913,25 \text{ kNm}.$$

$$MuY = 980,3 + 385,4 \times (1) \times (1 - 0,65) / 0,65 = 1187,82 \text{ kNm}.$$

Dipilih harga yang menentukan yaitu 1187,82 kNm.

$$e = Mu / Pu = 1187820 / 5279 = 225 \text{ mm}.$$

$$e_{\min} = 0,1 \cdot h = 0,1 \times 800 = 80 \text{ mm}.$$

$$e_{\min} / h = 0,1.$$

$$k_y = \frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{5279 \text{ e}3}{800^2} = 8,25 \text{ MPa} = 1,197 \text{ ksi}.$$

$$k_x = \frac{\phi M_n}{A_g x h} = \frac{11,88 \text{ e}8}{800^2 \times 800} = 2,32 \text{ MPa} = 0,336 \text{ ksi}.$$

Dengan menarik garis pada diagram interaksi sejajar sumbu y sebesar 1,197 dan dipertemukan dengan garis sejajar sumbu x sebesar 0,336 diperoleh $p = 1\% = 0,01$.

$$A_s \text{ perlu} = 0,01 \times 800^2 = 6400 \text{ mm}^2$$

Dipasang 16 D25 ($A_s = 7854 \text{ mm}^2$);

$$\rho_{\text{ada}} = 7854 / 800^2 = 0,012 = 1,2\%.$$

** Cek Biaksial Bending Momen dengan Bresler Reciprocal Method*

$$MuX = 913,25 \text{ kNm}, \quad MuY = 1187,82 \text{ kNm}.$$

$$Pu = 5279 \text{ kN}.$$

$$eX/h = \frac{MuX}{Pu \cdot h} = \frac{913,25 \text{ e}3}{5279 \times 800} = 0,216.$$

$$eY/h = \frac{MuY}{Pu \cdot h} = \frac{1187,82 \text{ e}3}{5279 \times 800} = 0,281$$

ρ ada = 1,2 %, dengan bantuan diagram interaksi terlampir diperoleh :

$$KX = KY = 1,4 \text{ ksi} = 9,653 \text{ MPa, maka :}$$

$$\rightarrow P_{nx} = 9,653 \times 800^2 / 0,65 = 9504,49 \text{ kN.}$$

$$\rightarrow P_{ny} = 9,653 \times 800^2 / 0,65 = 9504,49 \text{ kN.}$$

$$\begin{aligned} P_{no} &= 0,8 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f_c' (A_g - A_s) + A_s \cdot f_y] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 24,6 \times (800^2 - 7854) + 7854 \times 320] \\ &= 8180,4 \text{ kN.} \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol : } P_n \text{ ijin} = \frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}} \geq P_n \text{ ada.}$$

$$P_n = P_u / \phi = 5279 / 0,65 = 8121,5 \text{ kN.}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= \left(\frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}} \right)^{-1} \\ &= \left(\frac{1}{9504,49} + \frac{1}{9504,49} - \frac{1}{8180,4} \right)^{-1} \\ &= 11340 \text{ kN} > P_n = 8121,5 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{ok !} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kolom yang lainnya disajikan dalam bentuk tabel. Diagram interaksi dapat dilihat pada lampiran.

B. Penulangan geser dan torsi kolom

$$\text{- } N_u = 5279 \text{ kN, } P_u = 274,9 \text{ kN, } T_u = 2 \text{ kNm.}$$

$$\text{- } f_c' = 24,6 \text{ MPa, } f_y = 320 \text{ MPa.}$$

$$\text{- } b = h = 800 \text{ mm.}$$

$$\text{- } \text{decking} = 50 \text{ mm.}$$

$$\text{- } \text{begel} = D12. A_v \text{ ada} = 226,286 \text{ mm}^2.$$

$$\text{- } \text{tulangan memanjang} = D25.$$

$$\text{- } d = 800 - 50 - 12 - 12,5 = 725,5 \text{ mm.}$$

* Sumbangan kekuatan geser beton

$$\begin{aligned}
 -\phi V_c &= 0,5 \phi \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d \\
 &= 0,5 \times 0,6 \times \left(1 + \frac{5279e3}{14 \times 800^2} \right) \times \frac{1}{6} \sqrt{24,6} \times 800 \times 725,5 \\
 &= 228737 \text{ N.}
 \end{aligned}$$

$\phi V_c < V_u \rightarrow$ Butuh tulangan geser !

Gaya geser yang harus diterima oleh tulangan geser :

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 274900 - 228737 = 46163 \text{ N}$$

Jarak tulangan geser yang dibutuhkan :

$$s = \frac{\phi A_v f_y d}{\phi V_s} = \frac{0,6 \times 226,286 \times 320 \times 725,5}{46163} = 682,81 \text{ mm}$$

Spasi maks :

a. $S = (X_1 + Y_1)/4 = (688 + 688)/4 = 344 \text{ mm}$

b. $S = 10 \times \text{diameter tulangan utama}$
 $= 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$

c. $S = 24 \times \text{diameter begel}$
 $= 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$

d. $S = d/4 = 725,5/4 = 180 \text{ mm}$

e. $S < 300 \text{ mm}$

\rightarrow Pasang tulangan geser $\phi 12 - 180 \text{ mm}$.

* Batas torsi

$$-\Sigma x^2 y = 800^3 = 5,12 \text{ e8 mm}^3.$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Batas torsi} &= \phi \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} \Sigma x^2 y \right) \\
 &= 0,6 \times \sqrt{24,6} / 20 \times 5,12 \text{ e8} = 76,18 \text{ kNm} > T_u \rightarrow \text{Torsi diabaikan.}
 \end{aligned}$$

* Tulangan torsi minimum

$$- A_l \text{ min} = \frac{b_w}{3 f_y} (x_1 + y_1)$$

$$= \frac{800}{3 \times 320} \times (688 + 688)$$

= 1147 mm², diambilkan dari kelebihan tulangan utama.

- Al sisa = 1454 mm² > Al min. OK.

Hasil perhitungan penulangan untuk kolom yang lainnya disajikan dalam bentuk tabel .

8.5. HUBUNGAN BALOK KOLOM

Sesuai dengan dasar perencanaan menurut SK SNI-T15-1993 maka untuk perencanaan struktur bangunan dengan daktilitas terbatas tidak terdapat pendetailan khusus mengenai penulangan pada pertemuan balok kolom. Untuk itu penulis menggunakan batas-batas penulangan minimum berdasar literatur " Buku Pedoman Perencanaan Untuk Struktur Beton Bertulang Biasa Dan Struktur Tembok Bertulang Untuk Gedung " oleh DPU Ditjen Cipta Karya.

Adapun ketentuan persyaratannya pendetailan sbb :

1. Untuk portal luar (exterior)

Jarak minimum sengkang (as1) diambil yang terkecil antara

- bk/4
- hk/4
- 10 cm

Luas efektif sengkang minimum diambil yang terbesar antara

$$- \frac{A_l \cdot \sigma_{au} \cdot as1}{\sigma_{auh} \cdot hk}$$

- diameter 10 mm

2. Untuk Portal Dalam (interior)

Jarak minimum sengkang (as 2) diambil yang terkecil antara :

- bk/4
- hk/4

- 10 cm

Luas efektif sengkang minimum diambil yang terbesar antara

$$= \frac{(A_i - A_i') \cdot \sigma_{au} \cdot a_s^2}{\sigma_{auh} \cdot h_k}$$

- 0.64 cm²

dimana :

bk = lebar sisi kolom

hk = lebar sisi kolom yang lain

Ai = Luas tulangan atas balok yang berhubungan (Tumpuan)

Ai' = Luas tulangan bawah balok yang berhubungan

as1 = jarak sengkang rencana

σ_{au} = tegangan leleh karakteristik tulangan pokok

σ_{auh} = tegangan leleh karakteristik tulangan sengkang

h = tinggi manfaat balok yang berhubungan

8.6. PERENCANAAN DINDING GESER

8.6.1. Data-data Perencanaan

Perencanaan dinding geser didasarkan pada SK SNI T-15-1991-03, Ayat 3.4.10, Ayat

3.7.5. Sebagai contoh perhitungan adalah dinding geser As. A.

Data - data bahan :

Mutu baja : U₃₂, fy = 320 MPa.

Mutu beton : K 350, fc' = 24,6 MPa.

Lebar dinding (lw) = 400 cm

Tinggi total dinding (hw) = 4300 cm

Tebal dinding (h) = 30 cm

Beban-beban maksimum dari analisa struktur :

$$P_u = 1734 \text{ kN.}$$

$$V_u = 22,3 \text{ kN.}$$

$$M_u = 46,1 \text{ kNm.}$$

8.6.2. Perencanaan Berdasarkan Kekuatan

1. Kuat geser penampang horizontal (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10 butir 3) :

$$\begin{aligned} V_n &= 5/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot h \cdot d \\ &= 5/6 \cdot \sqrt{24,6} \cdot 300 \cdot (0,8 \times 4000) = 3967870,97 \text{ N} \\ &= 3967,87 \text{ kN} > V_u / 0,6 = 22,3 / 0,6 = 37,17 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{Ok!} \end{aligned}$$

(kemampuan dinding memikul gaya geser lebih besar dari beban geser yang diterimanya).

2. Kuat beban aksial rancang (SK SNI T 15-1991-03, Ayat 3.7.5 butir 2) :

$$\phi P_{nw} = 0,55 \phi f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{k \cdot l_c}{32 \cdot h} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (\text{SK SNI '91, pers 3.7.1})$$

$$\text{dimana :} \quad \phi = 0,7$$

$$k = 0,8$$

$$\begin{aligned} \phi P_{nw} &= 0,55 \cdot 0,7 \cdot 24,6 \cdot (300 \cdot 4000) \cdot \left[1 - \left(\frac{0,8 \cdot 4000}{32 \cdot 300} \right)^2 \right] \\ &= 10102400 \text{ N} \\ &= 10102,4 \text{ kN} > P_u = 1734 \text{ kN.} \end{aligned}$$

3. Tebal minimum (SK SNI T-15-1991-03, Ayat 3.14.9 butir 7 sub butir 2 (b)) :

SK SNI '91, ayat 3.14.9 butir 7 sub butir 2 (b), mensyaratkan bahwa untuk tebal dinding $\geq 200 \text{ mm}$, maka di setiap arah harus dipasang 2 lapis tulangan.

Adapun tujuannya adalah :

- ♦ Melindungi kerusakan beton akibat adanya beban tertukar, terutama pada keadaan inelastik.
- ♦ Mengendalikan lebar retak yang akan timbul pada dinding karena penyebaran tulangan lebih merata sepanjang dan setinggi dinding tersebut.

8.6.3. Penulangan Geser Horisontal

Sesuai SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.10 butir 6, kuat geser yang disediakan beton dapat dihitung sebagai nilai terkecil dari :

$$V_c = \left[\frac{h d \sqrt{f_c'}}{4} + \frac{N_u d}{4 l_w} \right] \dots\dots\dots (\text{SK SNI '91, pers 3.4.32})$$

$$= \left[\frac{300 \times (0,8 \times 4000) \times \sqrt{24,6}}{4} + \frac{1734000 \times (0,8 \times 4000)}{4 \times 4000} \right]$$

$$= 1537161,29 \text{ N} = 1537,16 \text{ kN}$$

dan $V_c = \left[\left(\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + \frac{l_w \left(\sqrt{f_c'} + 2 \frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right) / 10 \right] h d \dots\dots\dots (\text{SK SNI '91, pers 3.4.33})$

Bila harga $\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}$ negatif maka persamaan kedua tidak berlaku.

Untuk dinding geser ini :

$$\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2} = \frac{46100}{22300} - \frac{4000}{2} = -1997,93 \text{ mm} < 0, \text{ maka :}$$

persamaan kedua tidak berlaku

Jadi V_c yang dipakai adalah = 1537,16 kN

$$- \phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 1537,16 \text{ kN} = 922,3 \text{ kN} > V_u = 22,3 \text{ kN.}$$

$$- 0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 461,15 \text{ kN} > V_u = 22,3 \text{ kN.}$$

Karena $\phi \cdot V_c > V_u$, maka penulangan geser horisontal adalah minimum.

Sesuai ketentuan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.14.5 butir 2, maka digunakan rasio tulangan horisontal minimum (ρ_{\min}) = 0,0025 (terhadap penampang vertikal dinding geser)

$$A_{vh_{\min}} = 0,0025 \cdot h_w \cdot h = 0,0025 \cdot 43000 \cdot 300 = 32250 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dicoba tulangan D.16, } A_v \text{ ada} = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tul}} = \frac{32250}{201,062} = 160,4 \approx 160 \text{ buah}$$

$$S_2 = \frac{43000}{160} = 268,75 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Sesuai ketentuan SK SNI '91, ayat 3.14.9 butir 7 sub butir 3 (g) :

- Dalam daerah ujung ($S_{2 \text{ maks}}$) $\leq 200 \text{ mm}$
- Di luar daerah ujung ($S_{2 \text{ maks}}$) $\leq \frac{l_w}{5} = \frac{4000}{5} = 800 \text{ mm}$.
 $\leq 3 h = 3 \times 300 = 900 \text{ mm}$.
 $\leq 450 \text{ mm}$

Dipasang tulangan geser horisontal :

- D.16 - 20 dalam daerah ujung (l_n)
- D.16 - 25 di luar daerah ujung

Adapun panjang daerah ujung yang dimaksud di atas adalah seperti yang ditentukan dalam SK SNI '91, ayat 3.14.5 butir 9 dan diambil yang terbesar dari :

- Lebar dinding geser (l_w) = 400 cm
- $h_w / 6 = 4300 / 6 = 716,67 \text{ cm}$
- $\geq 2 \cdot l_w = 2 \cdot 400 = 800 \text{ cm}$ (Menentukan !)

Panjang daerah ujung dihitung dari dasar dinding geser.

8.6.4. Penulangan Geser Vertikal

Menurut SK SNI T-15-1991-03, ayat 3.14.5 butir 2, rasio minimum tulangan geser vertikal adalah ditentukan yang terbesar dari :

$$\diamond \rho_{\min} = 0,0025 \quad \dots\dots \quad (\text{Menentukan !})$$

$$\diamond \rho_{\min} = 0,7 / f_y = 0,7 / 320 = 0,0021875$$

$$A_{nv \min} = \rho_n l_w h = 0,0025 * 4000 * 300 = 3000 \text{ mm}^2$$

$$n_{tul} = \frac{3000}{201,062} = 14,92 \simeq 15 \text{ buah}$$

$$S_1 = \frac{4000}{15} = 266,667 \text{ mm} \simeq 250 \text{ mm}$$

Sesuai ketentuan SK SNI '91, ayat 3.14.9 butir 7 sub butir 3 (f) :

- $S_{1 \text{ maks}} \leq 200 \text{ mm}$, dalam daerah ujung (l_o)
- $S_{1 \text{ maks}} \leq 300 \text{ mm}$, di luar daerah ujung
- **D.16 - 20** dalam daerah ujung (l_o)
- **D.16 - 25** di luar daerah ujung

Untuk selanjutnya tabel perhitungan penulangan dinding geser yang lainnya, dapat dilihat pada tabel.

TABEL 8.1.a. PERHITUNGAN PENULANGAN LENTUR DAN AKSIAL KOLOM LANTAI BASEMENT - 1

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Senggang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Faktor tekuk k	M_{2x} (N-mm)	M_{2y} (N-mm)	Keterangan	P_u (N)	K_x, K_y (MPa)	K_x, K_y (Ksi)	g	P perlu	As perlu (cm^2)	Pakai tulangan	As ada (cm^2)
A	Sumbu X	80	1	3.854E+08	9.133E+08	-	5.279E+06	2.32	0.34					
	Sumbu Y	80	1	9.803E+08	1.188E+09	Menentukan !	5.279E+06	8.25	1.20	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
B	Sumbu X	80	1	4.029E+08	9.988E+08	-	7.670E+06	2.59	0.37					
	Sumbu Y	80	1	1.107E+09	1.324E+09	Menentukan !	7.670E+06	11.98	1.74	0.8	0.019	121.60	28 D.25	137.48
C	Sumbu X	80	1	4.408E+08	1.035E+09	-	8.530E+06	2.62	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.104E+09	1.342E+09	Menentukan !	8.530E+06	13.33	1.93	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
D	Sumbu X	80	1	4.259E+08	1.024E+09	-	8.377E+06	2.62	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.110E+09	1.340E+09	Menentukan !	8.377E+06	13.09	1.90	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
E	Sumbu X	80	1	4.195E+08	1.017E+09	-	8.416E+06	2.61	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.110E+09	1.335E+09	Menentukan !	8.416E+06	13.15	1.91	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
F	Sumbu X	80	1	4.145E+08	1.004E+09	-	8.402E+06	2.57	0.37					
	Sumbu Y	80	1	1.095E+09	1.318E+09	Menentukan !	8.402E+06	13.13	1.90	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
G	Sumbu X	80	1	3.946E+08	1.000E+09	-	7.904E+06	2.61	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.125E+09	1.338E+09	Menentukan !	7.904E+06	12.35	1.79	0.8	0.021	134.40	28 D.25	137.48
H	Sumbu X	80	1	3.612E+08	9.333E+08	-	5.353E+06	2.45	0.36					
	Sumbu Y	80	1	1.062E+09	1.257E+09	Menentukan !	5.353E+06	8.36	1.21	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56

TABEL 8.1.a. PERHITUNGAN PENULANGAN LENTUR DAN AKSIAL KOLOM LANTAI BASEMENT - 1

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Sengkang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Faktor tekuk k	M_{25} (N-mm)	M_u (N-mm)	Keterangan	P_u (N)	K_x, K_y (MPa)	K_x, K_y (Ksi)	g	P perlu	As perlu (cm ²)	Pakai tulangan	As ada (cm ²)
A	Sumbu X	80	1	3.854E+08	9.133E+08	-	5.279E+06	2.32	0.34					
	Sumbu Y	80	1	9.803E+08	1.188E+09	Menentukan !	5.279E+06	8.25	1.20	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
B	Sumbu X	80	1	4.029E+08	9.988E+08	-	7.670E+06	2.59	0.37					
	Sumbu Y	80	1	1.107E+09	1.324E+09	Menentukan !	7.670E+06	11.98	1.74	0.8	0.019	121.60	28 D.25	137.48
C	Sumbu X	80	1	4.408E+08	1.035E+09	-	8.530E+06	2.62	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.104E+09	1.342E+09	Menentukan !	8.530E+06	13.33	1.93	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
D	Sumbu X	80	1	4.259E+08	1.024E+09	-	8.377E+06	2.62	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.110E+09	1.340E+09	Menentukan !	8.377E+06	13.09	1.90	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
E	Sumbu X	80	1	4.195E+08	1.017E+09	-	8.416E+06	2.61	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.110E+09	1.335E+09	Menentukan !	8.416E+06	13.15	1.91	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
F	Sumbu X	80	1	4.145E+08	1.004E+09	-	8.402E+06	2.57	0.37					
	Sumbu Y	80	1	1.095E+09	1.318E+09	Menentukan !	8.402E+06	13.13	1.90	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
G	Sumbu X	80	1	3.946E+08	1.000E+09	-	7.904E+06	2.61	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.125E+09	1.338E+09	Menentukan !	7.904E+06	12.35	1.79	0.8	0.021	134.40	28 D.25	137.48
H	Sumbu X	80	1	3.612E+08	9.333E+08	-	5.353E+06	2.45	0.36					
	Sumbu Y	80	1	1.062E+09	1.257E+09	Menentukan !	5.353E+06	8.36	1.21	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56

TABEL 8.1.b. CEK BLAKSIAL BENDING MOMEN KOLOM LANTAI BASEMENT - 1

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Sengkang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Mn (N-mm)	Pn ada (N)	e/h	r _{ada}	Kx , Ky (Ksi)	Kx , Ky (MPa)	Pnx , Pny (N)	Pno (N)	Pnb (N)	Kontrol (Pnb) terhadap (Pn)
A	Sumbu X	80	1.405E+09	8.122E+06	0.2162	0.0123	1.40	9.65	9.504E+06	8.181E+06	1.134E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	1.827E+09	8.122E+06	0.2813		1.40	9.65	9.504E+06			
B	Sumbu X	80	1.537E+09	1.180E+07	0.1628	0.0215	2.05	14.13	1.392E+07	9.097E+06	2.960E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	2.036E+09	1.180E+07	0.2157		2.05	14.13	1.392E+07			
C	Sumbu X	80	1.593E+09	1.312E+07	0.1517	0.0246	2.11	14.55	1.432E+07	9.402E+06	3.006E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	2.064E+09	1.312E+07	0.1966		2.11	14.55	1.432E+07			
D	Sumbu X	80	1.575E+09	1.289E+07	0.1528	0.0246	2.11	14.55	1.432E+07	9.402E+06	3.006E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	2.061E+09	1.289E+07	0.1999		2.11	14.55	1.432E+07			
E	Sumbu X	80	1.564E+09	1.295E+07	0.1510	0.0246	2.11	14.55	1.432E+07	9.402E+06	3.006E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	2.054E+09	1.295E+07	0.1983		2.11	14.55	1.432E+07			
F	Sumbu X	80	1.545E+09	1.293E+07	0.1494	0.0246	2.11	14.55	1.432E+07	9.402E+06	3.006E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	2.028E+09	1.293E+07	0.1961		2.11	14.55	1.432E+07			
G	Sumbu X	80	1.539E+09	1.216E+07	0.1582	0.0215	2.05	14.13	1.392E+07	9.097E+06	2.960E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	2.058E+09	1.216E+07	0.2116		2.05	14.13	1.392E+07			
H	Sumbu X	80	1.436E+09	8.236E+06	0.2179	0.0123	1.40	9.65	9.504E+06	8.181E+06	1.134E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
	Sumbu Y	80	1.934E+09	8.236E+06	0.2935		1.40	9.65	9.504E+06			

TABEL 8.1.c. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER DAN TORSI KOLOM LANTAI BASEMENT - 1
 $f_c' = 24,6 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 $\text{Decking } (dc) = 50 \text{ mm}$
 $\text{Diameter sengkang} = \phi 12$
 $A_v \text{ ada} = 226.286 \text{ mm}^2$
 $x_1 = b - 2 \cdot dc - \phi \text{ begel}$
 $y_1 = h - 2 \cdot dc - \phi \text{ begel}$

As	Daerah	Dimensi arah x, y (mm)	x_1 (mm)	y_1 (mm)	d (mm)	N_u (N)	V_u (N)	$\phi \cdot V_c$ (N)	$\phi \cdot V_s$ (N)	T_u (N-mm)	T_u Batas (N-mm)	s_{perlu} (mm)	s_{max} (mm)	s_{pasang} (mm)	AJ (cm ²)
A	Tump.	800	688	688	725.5	5.279E+06	2.749E+05	2.287E+05	4.616E+04	2.000E+06	7.618E+07	682.814	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	5.279E+06	2.749E+05	2.287E+05	4.616E+04	2.000E+06	7.618E+07	682.814	180	180	11.47
B	Tump.	800	688	688	725.5	7.670E+06	3.451E+05	2.671E+05	7.796E+04	2.000E+06	7.618E+07	404.344	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	7.670E+06	3.451E+05	2.671E+05	7.796E+04	2.000E+06	7.618E+07	404.344	180	180	11.47
C	Tump.	800	688	688	725.5	8.530E+06	3.449E+05	2.810E+05	6.394E+04	2.000E+06	7.618E+07	492.985	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.530E+06	3.449E+05	2.810E+05	6.394E+04	2.000E+06	7.618E+07	492.985	180	180	11.47
D	Tump.	800	688	688	725.5	8.377E+06	3.821E+05	2.785E+05	1.036E+05	2.000E+06	7.618E+07	304.260	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.377E+06	3.821E+05	2.785E+05	1.036E+05	2.000E+06	7.618E+07	304.260	180	180	11.47
E	Tump.	800	688	688	725.5	8.416E+06	3.895E+05	2.791E+05	1.104E+05	2.000E+06	7.618E+07	285.609	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.416E+06	3.895E+05	2.791E+05	1.104E+05	2.000E+06	7.618E+07	285.609	180	180	11.47
F	Tump.	800	688	688	725.5	8.402E+06	3.482E+05	2.789E+05	6.930E+04	2.000E+06	7.618E+07	454.869	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.402E+06	3.482E+05	2.789E+05	6.930E+04	2.000E+06	7.618E+07	454.869	180	180	11.47
G	Tump.	800	688	688	725.5	7.904E+06	3.402E+05	2.709E+05	6.929E+04	2.000E+06	7.618E+07	454.880	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	7.904E+06	3.402E+05	2.709E+05	6.929E+04	2.000E+06	7.618E+07	454.880	180	180	11.47
H	Tump.	800	688	688	725.5	5.353E+06	2.778E+05	2.299E+05	4.787E+04	2.000E+06	7.618E+07	658.495	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	5.353E+06	2.778E+05	2.299E+05	4.787E+04	2.000E+06	7.618E+07	658.495	180	180	11.47

TABEL 8.2.a. PERHITUNGAN PENULANGAN LENTUR DAN AKSIAL KOLOM LANTAI 1 - 4
 $f_c' = 24,6 \text{ MPa}$
 $D. \text{ tul. utama} = 25 \text{ mm}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 $\text{Sengkang} = \phi 12$
 $\text{Decking (d)} = 50 \text{ mm}$

As	Arah	Dimensi (cm)	Faktor tekuk k	M_{25} (N-mm)	M_u (N-mm)	Keterangan	P_u (N)	K_x, K_y (MPa)	K_x, K_y (Ksi)	γ	P_{perlu}	As perlu (cm^2)	Pakai tulangan	As ada (cm^2)
A	Sumbu X	80	1	3.637E+08	7.957E+08	-	4.810E+06	1.95	0.28					
	Sumbu Y	80	1	8.022E+08	9.980E+08	Menentukan !	4.810E+06	7.52	1.09	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
B	Sumbu X	80	1	4.307E+08	9.736E+08	-	5.891E+06	2.42	0.35					
	Sumbu Y	80	1	1.008E+09	1.240E+09	Menentukan !	5.891E+06	9.20	1.33	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
C	Sumbu X	80	1	4.676E+08	1.002E+09	-	8.783E+06	2.43	0.35					
	Sumbu Y	80	1	9.926E+08	1.244E+09	Menentukan !	8.783E+06	13.72	1.99	0.8	0.020	128.00	28 D.25	137.48
D	Sumbu X	80	1	4.457E+08	1.022E+09	-	9.517E+06	2.56	0.37					
	Sumbu Y	80	1	1.071E+09	1.311E+09	Menentukan !	9.517E+06	14.87	2.16	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
E	Sumbu X	80	1	4.416E+08	1.027E+09	-	9.585E+06	2.59	0.38					
	Sumbu Y	80	1	1.086E+09	1.324E+09	Menentukan !	9.585E+06	14.98	2.17	0.8	0.022	140.80	32 D.25	157.12
F	Sumbu X	80	1	4.506E+08	9.907E+08	-	8.557E+06	2.43	0.35					
	Sumbu Y	80	1	1.003E+09	1.246E+09	Menentukan !	8.557E+06	13.37	1.94	0.8	0.020	128.00	28 D.25	137.48
G	Sumbu X	80	1	4.059E+08	9.410E+08	-	7.208E+06	2.37	0.34					
	Sumbu Y	80	1	9.937E+08	1.212E+09	Menentukan !	7.208E+06	11.26	1.63	0.8	0.013	83.20	20 D.25	98.2
H	Sumbu X	80	1	3.286E+08	7.653E+08	-	4.901E+06	1.93	0.28					
	Sumbu Y	80	1	8.111E+08	9.880E+08	Menentukan !	4.901E+06	7.66	1.11	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56

TABEL 8.2.b. CEK BIAKSIAL BENDING MOMEN KOLOM LANTAI 1 - 4

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Senggang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Mn (N-mm)	Pn ada (N)	e/h	P _{ada}	Kx, Ky (Ksi)	Kx, Ky (MPa)	Pnx, Pny (N)	Pno (N)	Pnb (N)	Kontrol (Pnb) terhadap (Pn)
A	Sumbu X	80	1.224E+09	7.400E+06	0.2068		1.60	11.03	1.086E+07			
	Sumbu Y	80	1.535E+09	7.400E+06	0.2594	0.0123	1.60	11.03	1.086E+07	8.181E+06	1.616E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
B	Sumbu X	80	1.498E+09	9.063E+06	0.2066		1.60	11.03	1.086E+07			
	Sumbu Y	80	1.908E+09	9.063E+06	0.2632	0.0123	1.60	11.03	1.086E+07	8.181E+06	1.616E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
C	Sumbu X	80	1.542E+09	1.351E+07	0.1426		2.05	14.13	1.392E+07			
	Sumbu Y	80	1.914E+09	1.351E+07	0.1771	0.0215	2.05	14.13	1.392E+07	9.097E+06	2.960E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
D	Sumbu X	80	1.573E+09	1.464E+07	0.1343		2.11	14.55	1.432E+07			
	Sumbu Y	80	2.016E+09	1.464E+07	0.1721	0.0246	2.11	14.55	1.432E+07	9.402E+06	3.006E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
E	Sumbu X	80	1.579E+09	1.475E+07	0.1339		2.11	14.55	1.432E+07			
	Sumbu Y	80	2.037E+09	1.475E+07	0.1727	0.0246	2.11	14.55	1.432E+07	9.402E+06	3.006E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
F	Sumbu X	80	1.524E+09	1.316E+07	0.1447		2.05	14.13	1.392E+07			
	Sumbu Y	80	1.917E+09	1.316E+07	0.1820	0.0215	2.05	14.13	1.392E+07	9.097E+06	2.960E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
G	Sumbu X	80	1.448E+09	1.109E+07	0.1632		1.95	13.44	1.324E+07			
	Sumbu Y	80	1.865E+09	1.109E+07	0.2102	0.0153	1.95	13.44	1.324E+07	8.486E+06	3.008E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
H	Sumbu X	80	1.177E+09	7.540E+06	0.1952		1.70	11.72	1.154E+07			
	Sumbu Y	80	1.520E+09	7.540E+06	0.2520	0.0123	1.70	11.72	1.154E+07	8.181E+06	1.959E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !

TABEL 8.2.c. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER DAN TORSI KOLOM LANTAI 1 - 4

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Decking (d_c) = 50 mm

Diameter sengkang = $\phi 12$

$A_v \text{ ada} = 226.286 \text{ mm}^2$

$x_1 = b - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

$y_1 = h - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

As	Daerah	Dimensi arah x, y (mm)	x_1 (mm)	y_1 (mm)	d (mm)	N_u (N)	V_u (N)	$\phi.V_c$ (N)	$\phi.V_s$ (N)	T_u (N-mm)	T_u Batas (N-mm)	s_{perlu} (mm)	s_{max} (mm)	s_{pasang} (mm)	Al (cm^2)
A	Tump.	800	688	688	725.5	4.810E+06	2.464E+05	2.212E+05	2.520E+04	5.200E+06	7.618E+07	1251.048	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	4.810E+06	2.464E+05	2.212E+05	2.520E+04	5.200E+06	7.618E+07	1251.048	180	180	11.47
B	Tump.	800	688	688	725.5	5.891E+06	3.602E+05	2.386E+05	1.216E+05	5.200E+06	7.618E+07	259.142	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	5.891E+06	3.602E+05	2.386E+05	1.216E+05	5.200E+06	7.618E+07	259.142	180	180	11.47
C	Tump.	800	688	688	725.5	8.783E+06	3.493E+05	2.850E+05	6.428E+04	5.200E+06	7.618E+07	490.361	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.783E+06	3.493E+05	2.850E+05	6.428E+04	5.200E+06	7.618E+07	490.361	180	180	11.47
D	Tump.	800	688	688	725.5	9.517E+06	4.078E+05	2.968E+05	1.110E+05	5.200E+06	7.618E+07	284.026	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	9.517E+06	4.078E+05	2.968E+05	1.110E+05	5.200E+06	7.618E+07	284.026	180	180	11.47
E	Tump.	800	688	688	725.5	9.585E+06	2.598E+05	2.979E+05	-3.810E+04	5.200E+06	7.618E+07	-827.223	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	9.585E+06	2.598E+05	2.979E+05	-3.810E+04	5.200E+06	7.618E+07	-827.223	180	180	11.47
F	Tump.	800	688	688	725.5	8.557E+06	3.531E+05	2.814E+05	7.171E+04	5.200E+06	7.618E+07	439.551	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.557E+06	3.531E+05	2.814E+05	7.171E+04	5.200E+06	7.618E+07	439.551	180	180	11.47
G	Tump.	800	688	688	725.5	7.208E+06	3.544E+05	2.597E+05	9.468E+04	5.200E+06	7.618E+07	332.929	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	7.208E+06	3.544E+05	2.597E+05	9.468E+04	5.200E+06	7.618E+07	332.929	180	180	11.47
H	Tump.	800	688	688	725.5	4.901E+06	2.495E+05	2.227E+05	2.683E+04	5.200E+06	7.618E+07	1174.673	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	4.901E+06	2.495E+05	2.227E+05	2.683E+04	5.200E+06	7.618E+07	1174.673	180	180	11.47

TABEL 8.3.a. PERHITUNGAN PENULANGAN LENTUR DAN AKSIAL KOLOM LANTAI 4 - 7

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Sengkang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Faktor tekuk k	M_{2s} (N-mm)	M_u (N-mm)	Keterangan	P_u (N)	K_x, K_y (MPa)	K_x, K_y (Ksi)	γ	P_{perlu}	As perlu (cm^2)	Pakai tulangan	As ada (cm^2)
A	Sumbu X	80	1	1.992E+08	3.831E+08	-	3.234E+06	0.88	0.13	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	3.416E+08	4.489E+08	Menentukan !	3.234E+06	5.05	0.73					
B	Sumbu X	80	1	3.142E+08	6.832E+08	-	4.885E+06	1.67	0.24	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	6.852E+08	8.544E+08	Menentukan !	4.885E+06	7.63	1.11					
C	Sumbu X	80	1	3.573E+08	7.152E+08	-	6.106E+06	1.67	0.24	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	6.647E+08	8.571E+08	Menentukan !	6.106E+06	9.54	1.38					
D	Sumbu X	80	1	2.735E+08	6.328E+08	-	8.224E+06	1.59	0.23	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	6.672E+08	8.145E+08	Menentukan !	8.224E+06	12.85	1.86					
E	Sumbu X	80	1	3.078E+08	7.357E+08	-	8.298E+06	1.88	0.27	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	7.947E+08	9.604E+08	Menentukan !	8.298E+06	12.97	1.88					
F	Sumbu X	80	1	3.589E+08	7.199E+08	-	5.959E+06	1.69	0.24	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	6.705E+08	8.638E+08	Menentukan !	5.959E+06	9.31	1.35					
G	Sumbu X	80	1	3.120E+08	6.753E+08	-	5.041E+06	1.65	0.24	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	6.747E+08	8.427E+08	Menentukan !	5.041E+06	7.88	1.14					
H	Sumbu X	80	1	2.247E+08	4.738E+08	-	3.330E+06	1.14	0.17	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	4.626E+08	5.836E+08	Menentukan !	3.330E+06	5.20	0.75					

TABEL 8.3.b. CEK BIAKSIAL BENDING MOMEN KOLOM LANTAI 4 - 7
 $f_c' = 24,6 \text{ MPa}$
 $D. \text{ tul. utama} = 25 \text{ mm}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 $\text{Sengkang} = \phi 12$
 $\text{Decking (d)} = 50 \text{ mm}$

As	Arah	Dimensi (cm)	Mn (N-mm)	Pn ada (N)	e/h	ρ_{ada}	Kx, Ky (Ksi)	Kx, Ky (MPa)	Pnx, Pny (N)	Pno (N)	Pnb (N)	Kontrol (Pnb) terhadap (Pn)
A	Sumbu X	80	5.894E+08	4.976E+06	0.1481		1.90	13.10	1.290E+07			
	Sumbu Y	80	6.906E+08	4.976E+06	0.1735	0.0123	1.90	13.10	1.290E+07	8.181E+06	3.047E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
B	Sumbu X	80	1.051E+09	7.516E+06	0.1748		1.85	12.76	1.256E+07			
	Sumbu Y	80	1.314E+09	7.516E+06	0.2186	0.0123	1.85	12.76	1.256E+07	8.181E+06	2.702E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
C	Sumbu X	80	1.100E+09	9.394E+06	0.1464		1.90	13.10	1.290E+07			
	Sumbu Y	80	1.319E+09	9.394E+06	0.1755	0.0123	1.90	13.10	1.290E+07	8.181E+06	3.047E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
D	Sumbu X	80	9.735E+08	1.265E+07	0.0962		2.10	14.48	1.426E+07			
	Sumbu Y	80	1.253E+09	1.265E+07	0.1238	0.0123	2.10	14.48	1.426E+07	8.181E+06	5.540E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
E	Sumbu X	80	1.132E+09	1.277E+07	0.1108		2.05	14.13	1.392E+07			
	Sumbu Y	80	1.478E+09	1.277E+07	0.1447	0.0123	2.05	14.13	1.392E+07	8.181E+06	4.657E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
F	Sumbu X	80	1.108E+09	9.167E+06	0.1510		1.90	13.10	1.290E+07			
	Sumbu Y	80	1.329E+09	9.167E+06	0.1812	0.0123	1.90	13.10	1.290E+07	8.181E+06	3.047E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
G	Sumbu X	80	1.039E+09	7.755E+06	0.1675		1.95	13.44	1.324E+07			
	Sumbu Y	80	1.296E+09	7.755E+06	0.2090	0.0123	1.95	13.44	1.324E+07	8.181E+06	3.467E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
H	Sumbu X	80	7.289E+08	5.123E+06	0.1778		2.00	13.79	1.358E+07			
	Sumbu Y	80	8.978E+08	5.123E+06	0.2191	0.0123	2.00	13.79	1.358E+07	8.181E+06	3.990E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !

TABEL 8.3.c. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER DAN TORSI KOLOM LANTAI 4 - 7

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Decking (d_c) = 50 mm

Diameter sengkang = $\phi 12$

$A_v \text{ ada} = 226.286 \text{ mm}^2$

$x_1 = b - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

$y_1 = h - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

As	Daerah	Dimensi arah x, y (mm)	x_1 (mm)	y_1 (mm)	d (mm)	N_u (N)	V_u (N)	$\phi \cdot V_c$ (N)	$\phi \cdot V_s$ (N)	T_u (N-mm)	T_u Batas (N-mm)	S_{perlu} (mm)	S_{maks} (mm)	S_{pasang} (mm)	Al (cm ²)
A	Tump.	800	688	688	725.5	3.234E+06	1.932E+05	1.959E+05	0.000E+00	6.300E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	3.234E+06	1.932E+05	1.959E+05	0.000E+00	6.300E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
B	Tump.	800	688	688	725.5	4.885E+06	3.058E+05	2.224E+05	8.339E+04	6.300E+06	7.618E+07	377.989	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	4.885E+06	3.058E+05	2.224E+05	8.339E+04	6.300E+06	7.618E+07	377.989	180	180	11.47
C	Tump.	800	688	688	725.5	6.106E+06	2.989E+05	2.420E+05	5.688E+04	6.300E+06	7.618E+07	554.151	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	6.106E+06	2.989E+05	2.420E+05	5.688E+04	6.300E+06	7.618E+07	554.151	180	180	11.47
D	Tump.	800	688	688	725.5	8.224E+06	3.788E+05	2.761E+05	1.027E+05	6.300E+06	7.618E+07	306.778	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.224E+06	3.788E+05	2.761E+05	1.027E+05	6.300E+06	7.618E+07	306.778	180	180	11.47
E	Tump.	800	688	688	725.5	8.298E+06	3.868E+05	2.772E+05	1.096E+05	6.300E+06	7.618E+07	287.697	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	8.298E+06	3.868E+05	2.772E+05	1.096E+05	6.300E+06	7.618E+07	287.697	180	180	11.47
F	Tump.	800	688	688	725.5	5.959E+06	3.019E+05	2.397E+05	6.225E+04	6.300E+06	7.618E+07	506.378	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	5.959E+06	3.019E+05	2.397E+05	6.225E+04	6.300E+06	7.618E+07	506.378	180	180	11.47
G	Tump.	800	688	688	725.5	5.041E+06	3.006E+05	2.249E+05	7.569E+04	6.300E+06	7.618E+07	416.422	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	5.041E+06	3.006E+05	2.249E+05	7.569E+04	6.300E+06	7.618E+07	416.422	180	180	11.47
H	Tump.	800	688	688	725.5	3.330E+06	1.965E+05	1.974E+05	0.000E+00	6.300E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	3.330E+06	1.965E+05	1.974E+05	0.000E+00	6.300E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47

TABEL 8.4.a. PERHITUNGAN PENULANGAN LENTUR DAN AKSIAL KOLOM LANTAI 7 - 10

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Senggang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Faktor tekuk k	M_{is} (N-mm)	M_u (N-mm)	Keterangan	P_u (N)	K_x, K_y (MPa)	K_x, K_y (Ksi)	γ	ρ_{perlu}	As perlu (cm ²)	Pakai tulangan	As ada (cm ²)
A	Sumbu X	80	1	2.313E+08	4.464E+08	-	1.828E+06	1.02	0.15					
	Sumbu Y	80	1	3.995E+08	5.240E+08	Menentukan !	1.828E+06	2.86	0.41	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
B	Sumbu X	80	1	3.069E+08	5.747E+08	-	2.760E+06	1.29	0.19					
	Sumbu Y	80	1	4.974E+08	6.627E+08	Menentukan !	2.760E+06	4.31	0.63	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
C	Sumbu X	80	1	3.484E+08	6.305E+08	-	3.475E+06	1.39	0.20					
	Sumbu Y	80	1	5.239E+08	7.115E+08	Menentukan !	3.475E+06	5.43	0.79	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
D	Sumbu X	80	1	2.696E+08	6.080E+08	-	5.012E+06	1.51	0.22					
	Sumbu Y	80	1	6.284E+08	7.736E+08	Menentukan !	5.012E+06	7.83	1.14	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
E	Sumbu X	80	1	2.672E+08	6.146E+08	-	5.080E+06	1.54	0.22					
	Sumbu Y	80	1	6.452E+08	7.891E+08	Menentukan !	5.080E+06	7.94	1.15	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
F	Sumbu X	80	1	3.529E+08	6.390E+08	-	3.387E+06	1.41	0.20					
	Sumbu Y	80	1	5.314E+08	7.214E+08	Menentukan !	3.387E+06	5.29	0.77	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
G	Sumbu X	80	1	3.080E+08	5.751E+08	-	2.832E+06	1.29	0.19					
	Sumbu Y	80	1	4.961E+08	6.619E+08	Menentukan !	2.832E+06	4.42	0.64	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
H	Sumbu X	80	1	2.164E+08	4.364E+08	-	1.887E+06	1.03	0.15					
	Sumbu Y	80	1	4.085E+08	5.250E+08	Menentukan !	1.887E+06	2.95	0.43	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56

TABEL 8.4.b. CEK BIAKSIAL BENDING MOMEN KOLOM LANTAI 7 - 10

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Senggang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Mn (N-mm)	Pn ada (N)	e/h	ρ_{ada}	Kx, Ky (Ksi)	Kx, Ky (MPa)	Pnx, Pny (N)	Pno (N)	Pnb (N)	Kontrol (Pnb) terhadap (Pn)
A	Sumbu X	80	6.868E+08	2.812E+06	0.3053		1.20	8.27	8.146E+06			
	Sumbu Y	80	8.062E+08	2.812E+06	0.3584	0.0123	1.20	8.27	8.146E+06	8.181E+06	8.112E+06	Pnb > Pn ada ... Ok !
B	Sumbu X	80	8.842E+08	4.247E+06	0.2603		1.30	8.96	8.825E+06			
	Sumbu Y	80	1.019E+09	4.247E+06	0.3001	0.0123	1.30	8.96	8.825E+06	8.181E+06	9.580E+06	Pnb > Pn ada ... Ok !
C	Sumbu X	80	9.700E+08	5.346E+06	0.2268		1.40	9.65	9.504E+06			
	Sumbu Y	80	1.095E+09	5.346E+06	0.2560	0.0123	1.40	9.65	9.504E+06	8.181E+06	1.134E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
D	Sumbu X	80	9.353E+08	7.710E+06	0.1516		1.95	13.44	1.324E+07			
	Sumbu Y	80	1.190E+09	7.710E+06	0.1929	0.0123	1.95	13.44	1.324E+07	8.181E+06	3.467E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
E	Sumbu X	80	9.456E+08	7.815E+06	0.1512		1.95	13.44	1.324E+07			
	Sumbu Y	80	1.214E+09	7.815E+06	0.1942	0.0123	1.95	13.44	1.324E+07	8.181E+06	3.467E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
F	Sumbu X	80	9.831E+08	5.210E+06	0.2359		1.50	10.34	1.018E+07			
	Sumbu Y	80	1.110E+09	5.210E+06	0.2663	0.0123	1.50	10.34	1.018E+07	8.181E+06	1.348E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
G	Sumbu X	80	8.848E+08	4.356E+06	0.2539		1.40	9.65	9.504E+06			
	Sumbu Y	80	1.018E+09	4.356E+06	0.2922	0.0123	1.40	9.65	9.504E+06	8.181E+06	1.134E+07	Pnb > Pn ada ... Ok !
H	Sumbu X	80	6.713E+08	2.902E+06	0.2891		1.25	8.62	8.486E+06			
	Sumbu Y	80	8.077E+08	2.902E+06	0.3479	0.0123	1.25	8.62	8.486E+06	8.181E+06	8.815E+06	Pnb > Pn ada ... Ok !

TABEL 8.4.c. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER DAN TORSI KOLOM LANTAI 7 - 10

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Decking (d_c) = 50 mm

Diameter sengkang = $\phi 12$

$A_v \text{ ada} = 226.286 \text{ mm}^2$

$x_1 = b - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

$y_1 = h - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

AS	Daerah	Dimensi arah x, y (mm)	x_1 (mm)	y_1 (mm)	d (mm)	N_u (N)	V_u (N)	$\phi \cdot V_c$ (N)	$\phi \cdot V_s$ (N)	T_u (N-mm)	T_u Batas (N-mm)	s_{perlu} (mm)	s_{maks} (mm)	s_{pakang} (mm)	Al (cm^2)
A	Tump.	800	688	688	725.5	1.828E+06	1.450E+05	1.733E+05	0.000E+00	4.100E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	1.828E+06	1.450E+05	1.733E+05	0.000E+00	4.100E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
B	Tump.	800	688	688	725.5	2.760E+06	1.907E+05	1.883E+05	2.422E+03	4.100E+06	7.618E+07	13013.897	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	2.760E+06	1.907E+05	1.883E+05	2.422E+03	4.100E+06	7.618E+07	13013.897	180	180	11.47
C	Tump.	800	688	688	725.5	3.475E+06	2.098E+05	1.998E+05	1.005E+04	4.100E+06	7.618E+07	3137.178	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	3.475E+06	2.098E+05	1.998E+05	1.005E+04	4.100E+06	7.618E+07	3137.178	180	180	11.47
D	Tump.	800	688	688	725.5	5.012E+06	2.812E+05	2.244E+05	5.676E+04	4.100E+06	7.618E+07	555.364	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	5.012E+06	2.812E+05	2.244E+05	5.676E+04	4.100E+06	7.618E+07	555.364	180	180	11.47
E	Tump.	800	688	688	725.5	5.080E+06	2.891E+05	2.255E+05	6.356E+04	4.100E+06	7.618E+07	495.910	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	5.080E+06	2.891E+05	2.255E+05	6.356E+04	4.100E+06	7.618E+07	495.910	180	180	11.47
F	Tump.	800	688	688	725.5	3.387E+06	2.129E+05	1.983E+05	1.456E+04	4.100E+06	7.618E+07	2164.719	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	3.387E+06	2.129E+05	1.983E+05	1.456E+04	4.100E+06	7.618E+07	2164.719	180	180	11.47
G	Tump.	800	688	688	725.5	2.832E+06	1.956E+05	1.894E+05	6.177E+03	4.100E+06	7.618E+07	5103.159	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	2.832E+06	1.956E+05	1.894E+05	6.177E+03	4.100E+06	7.618E+07	5103.159	180	180	11.47
H	Tump.	800	688	688	725.5	1.887E+06	1.490E+05	1.742E+05	0.000E+00	4.100E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	1.887E+06	1.490E+05	1.742E+05	0.000E+00	4.100E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47

TABEL 8.5.a. PERHITUNGAN PENULANGAN LENTUR DAN AKSIAL KOLOM LANTAI 10 - ATAP

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Sengkang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Faktor tekuk k	M_{25} (N-mm)	M_u (N-mm)	Keterangan	P_u (N)	K_x, K_y (MPa)	K_x, K_y (Ksi)	γ	ρ perlu	As perlu (cm^2)	Pakai tulangan	As ada (cm^2)
A	Sumbu X	80	1	2.518E+08	4.438E+08	-	4.111E+05	0.96	0.14	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	3.565E+08	4.921E+08	Menentukan !	4.111E+05	0.64	0.09					
B	Sumbu X	80	1	3.379E+08	4.644E+08	Menentukan !	6.097E+05	0.81	0.12	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	2.350E+08	4.169E+08	-	6.097E+05	0.95	0.14					
C	Sumbu X	80	1	4.507E+08	7.175E+08	-	9.875E+05	1.44	0.21	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	4.954E+08	7.381E+08	Menentukan !	9.875E+05	1.54	0.22					
D	Sumbu X	80	1	5.282E+08	8.550E+08	-	1.251E+06	1.74	0.25	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	6.069E+08	8.913E+08	Menentukan !	1.251E+06	1.95	0.28					
E	Sumbu X	80	1	5.284E+08	8.466E+08	-	1.201E+06	1.71	0.25	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	5.910E+08	8.755E+08	Menentukan !	1.201E+06	1.88	0.27					
F	Sumbu X	80	1	4.561E+08	7.195E+08	-	9.875E+05	1.43	0.21	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	4.891E+08	7.347E+08	Menentukan !	9.875E+05	1.54	0.22					
G	Sumbu X	80	1	4.009E+08	5.291E+08	Menentukan !	6.236E+05	0.89	0.13	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	2.381E+08	4.540E+08	-	6.236E+05	0.97	0.14					
H	Sumbu X	80	1	2.549E+08	4.485E+08	-	4.222E+05	0.97	0.14	0.8	0.010	64.00	16 D.25	78.56
	Sumbu Y	80	1	3.596E+08	4.969E+08	Menentukan !	4.222E+05	0.66	0.10					

TABEL 8.5.b. CEK BIAKSIAL BENDING MOMEN KOLOM LANTAI 10 - ATAP

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tul. utama = 25 mm

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Senggang = $\phi 12$

Decking (d) = 50 mm

As	Arah	Dimensi (cm)	Mn (N-mm)	Pn ada (N)	e/h	r _{ada}	Kx, Ky (Ksi)	Kx, Ky (MPa)	Pnx, Pny (N)	Pno (N)	Pnb (N)	Kontrol (Pnb) terhadap (Pn)
A	Sumbu X	80	6.827E+08	6.325E+05	1.3493	0.0123	0.18	1.24	1.222E+06	8.181E+06	6.603E+05	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	7.571E+08	6.325E+05	1.4962		0.18	1.24	1.222E+06			
B	Sumbu X	80	7.145E+08	9.380E+05	0.9522	0.0123	0.28	1.93	1.901E+06	8.181E+06	1.075E+06	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	6.415E+08	9.380E+05	0.8548		0.28	1.93	1.901E+06			
C	Sumbu X	80	1.104E+09	1.519E+06	0.9082	0.0123	0.40	2.76	2.715E+06	8.181E+06	1.628E+06	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	1.136E+09	1.519E+06	0.9343		0.40	2.76	2.715E+06			
D	Sumbu X	80	1.315E+09	1.924E+06	0.8544	0.0123	0.50	3.45	3.394E+06	8.181E+06	2.141E+06	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	1.371E+09	1.924E+06	0.8907		0.50	3.45	3.394E+06			
E	Sumbu X	80	1.303E+09	1.848E+06	0.8810	0.0123	0.50	3.45	3.394E+06	8.181E+06	2.141E+06	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	1.347E+09	1.848E+06	0.9111		0.50	3.45	3.394E+06			
F	Sumbu X	80	1.107E+09	1.519E+06	0.9107	0.0123	0.40	2.76	2.715E+06	8.181E+06	1.628E+06	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	1.130E+09	1.519E+06	0.9300		0.40	2.76	2.715E+06			
G	Sumbu X	80	8.140E+08	9.594E+05	1.0606	0.0123	0.28	1.93	1.901E+06	8.181E+06	1.075E+06	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	6.984E+08	9.594E+05	0.9100		0.28	1.93	1.901E+06			
H	Sumbu X	80	6.900E+08	6.495E+05	1.3280	0.0123	0.18	1.24	1.222E+06	8.181E+06	6.603E+05	Pnb > Pn ada ... Ok!
	Sumbu Y	80	7.644E+08	6.495E+05	1.4710		0.18	1.24	1.222E+06			

TABEL 8.5.c. PERHITUNGAN PENULANGAN GESER DAN TORSI KOLOM LANTAI 10 - ATAP

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Decking (d_c) = 50 mm

Diameter sengkang = $\phi 12$

$A_v \text{ ada} = 226.286 \text{ mm}^2$

$x_1 = b - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

$y_1 = h - 2.d_c - \phi \text{ begel}$

As	Daerah	Dimensi arah x, y (mm)	x_1 (mm)	y_1 (mm)	d (mm)	N_u (N)	V_u (N)	$\phi \cdot V_c$ (N)	$\phi \cdot V_s$ (N)	T_u (N-mm)	T_u Batas (N-mm)	s_{perlu} (mm)	s_{max} (mm)	s_{pangang} (mm)	Al (cm^2)
A	Tump.	800	688	688	725.5	4.111E+05	1.275E+05	1.505E+05	0.000E+00	1.700E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	4.111E+05	1.275E+05	1.505E+05	0.000E+00	1.700E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
B	Tump.	800	688	688	725.5	6.097E+05	1.815E+05	1.537E+05	2.777E+04	1.700E+06	7.618E+07	1135.016	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	6.097E+05	1.815E+05	1.537E+05	2.777E+04	1.700E+06	7.618E+07	1135.016	180	180	11.47
C	Tump.	800	688	688	725.5	9.875E+05	2.091E+05	1.598E+05	4.930E+04	1.700E+06	7.618E+07	639.338	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	9.875E+05	2.091E+05	1.598E+05	4.930E+04	1.700E+06	7.618E+07	639.338	180	180	11.47
D	Tump.	800	688	688	725.5	1.251E+06	2.809E+05	1.640E+05	1.169E+05	1.700E+06	7.618E+07	269.706	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	1.251E+06	2.809E+05	1.640E+05	1.169E+05	1.700E+06	7.618E+07	269.706	180	180	11.47
E	Tump.	800	688	688	725.5	1.201E+06	2.809E+05	1.632E+05	1.177E+05	1.700E+06	7.618E+07	267.876	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	1.201E+06	2.809E+05	1.632E+05	1.177E+05	1.700E+06	7.618E+07	267.876	180	180	11.47
F	Tump.	800	688	688	725.5	9.875E+05	2.117E+05	1.598E+05	5.190E+04	1.700E+06	7.618E+07	607.311	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	9.875E+05	2.117E+05	1.598E+05	5.190E+04	1.700E+06	7.618E+07	607.311	180	180	11.47
G	Tump.	800	688	688	725.5	6.236E+05	1.845E+05	1.540E+05	3.055E+04	1.700E+06	7.618E+07	1031.846	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	6.236E+05	1.845E+05	1.540E+05	3.055E+04	1.700E+06	7.618E+07	1031.846	180	180	11.47
H	Tump.	800	688	688	725.5	4.222E+05	1.165E+05	1.507E+05	0.000E+00	1.700E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47
	Lap.	800	688	688	725.5	4.222E+05	1.165E+05	1.507E+05	0.000E+00	1.700E+06	7.618E+07	0.000	180	180	11.47

TABEL 8.6.a KONTROL KEKUATAN DINDING GESER
 $f_c' = 24,6 \text{ MPa}$

D. tulangan utama = D.16

 $\phi = 0,7$
 $\rho_h \text{ min} = 0,0025$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$
 $k = 0,8$
 $\rho_v \text{ min} = 0,0025$

Dinding Geser	Letak pada daerah ujung	h (tebal) (mm)	L _w (lebar) (mm)	h _w (tinggi) (mm)	P _u (kN)	M _u (kN-m)	V _u (kN)	V _n beton (kN)	Cek V _u /φ terhadap V _n beton	φ P _{nw} (kN)	Cek φ P _{nw} terhadap P _u	Panjang daerah ujung (m)
As.D	Dalam	300	4000	43000	1734.0	46.10	22.30	3967.871	< V _n beton ... Ok !	10102.40	> P _u ... Ok !	8
	Luar	300	4000	43000	1734.0	46.10	22.30	3967.871	< V _n beton ... Ok !	10102.40	> P _u ... Ok !	8
As.E	Dalam	300	4000	43000	1734.0	46.80	21.40	3967.871	< V _n beton ... Ok !	10102.40	> P _u ... Ok !	8
	Luar	300	4000	43000	1734.0	46.80	21.40	3967.871	< V _n beton ... Ok !	10102.40	> P _u ... Ok !	8
As.1-8	Dalam	300	5000	43000	1698.0	21.70	46.70	4959.839	< V _n beton ... Ok !	11740.09	> P _u ... Ok !	10
	Luar	300	5000	43000	1698.0	21.70	46.70	4959.839	< V _n beton ... Ok !	11740.09	> P _u ... Ok !	10

TABEL 8.6.b PERHITUNGAN TULANGAN GESER HORIZONTAL DAN VERTIKAL DINDING GESER

$f_c' = 24,6 \text{ MPa}$ D. tulangan utama = D.16 $\phi = 0,7$ $\rho_{h \text{ min}} = 0,0025$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$ $k = 0,8$ $\rho_{v \text{ min}} = 0,0025$

Dinding Geser	Letak pada daerah ujung	P_u (kN)	M_u (kN-m)	V_u (kN)	ϕV_{c1} (kN)	ϕV_{c2} (kN)	ϕV_c pakai (kN)	Cek ϕV_c terhadap V_u	$A_{vh \text{ min}}$ (mm ²)	Spasi tulangan (mm)	$S_2 \text{ max}$ (mm)	Tulangan Horizontal	$A_{vv \text{ min}}$ (mm ²)	Spasi tulangan (mm)	$S_1 \text{ max}$ (mm)	Tulangan Vertikal
As.D	Dalam	1734.00	46.10	22.30	922.297	27030.739	922.297	> V_u ... Tul. geser horizontal min !	32250	268	200	D.16 - 200	3000	268	200	D.16 - 200
	Luar	1734.00	46.10	22.30	922.297	27030.739	922.297	> V_u ... Tul. geser horizontal min !	32250	268	450	D.16 - 250	3000	268	300	D.16 - 250
As.E	Dalam	1734.00	46.80	21.40	922.297	9818.869	922.297	> V_u ... Tul. geser horizontal min !	32250	268	200	D.16 - 200	3000	268	200	D.16 - 200
	Luar	1734.00	46.80	21.40	922.297	9818.869	922.297	> V_u ... Tul. geser horizontal min !	32250	268	450	D.16 - 250	3000	268	300	D.16 - 250
As.1-8	Dalam	1698.00	21.70	46.70	1096.531	-1099.165	1096.531	> V_u ... Tul. geser horizontal min !	32250	268	200	D.16 - 200	3750	268	200	D.16 - 200
	Luar	1698.00	21.70	46.70	1096.531	-1099.165	1096.531	> V_u ... Tul. geser horizontal min !	32250	268	450	D.16 - 250	3750	268	300	D.16 - 250

BAB IX

PERENCANAAN PONDASI

9.1. DATA - DATA TANAH

Data-data tanah pada perencanaan pondasi ini diambil sesuai dengan hasil penyelidikan tanah dilapangan. Adapun data yang telah tersedia adalah data sondir .

Dari hasil penyelidikan tanah , dapat diketahui jenis , jumlah hambatan pelekat, serta harga conus (sondir).

Pondasi pada gedung ini direncanakan dengan pondasi tiang pancang yang sudah ada dipasaran , yaitu produksi Wijaya Karya

Dari data sondir dapat diketahui pada kedalaman 22 m telah didapatkan daya perlawanan ujung conus yang cukup besar. Oleh karena itu, untuk dapat menghasilkan daya dukung suatu pondasi tiang pancang yang optimum, maka pemancangan tiang direncanakan sampai pada kedalaman 22 m.

9.2. PERENCANAAN JUMLAH PONDASI TIANG

Gedung ini direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang sebab jenis tanah dibawahnya adalah lempung lembek yang sangat kohesif dan daya dukung berdasarkan kekuatan desak tanah saja tidak bisa diharapkan.

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal yakni daya dukung desak pada ujung tiang (harga conus) dan pengaruh lekatan pada luas permukaan tiang dimana untuk keadaan tanah lempung lembek yang sangat kohesif, pengaruh lekatan lebih dominan dari harga konus.

9.2.1. Daya Dukung Tiang

Daya dukung suatu tiang harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan dan kekuatan tanah tempat tiang ditanam. Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang.

Daya dukung tiang pancang yang berdiri sendiri

Penentuan harga conus yang dipakai dalam perhitungan tidak diambil langsung dari harga conus diujung tiang, tetapi diambil dari harga conus rata-rata sepanjang daerah keruntuhan, yaitu pada daerah 4D dibawah tiang dan 4D diatas tiang yang dihitung dengan rumus :

$$Q_c = C_n \text{ rata-rata ujung} \times A \text{ ujung tiang}$$

("Schmertmann 1975)

Pengaruh dari lekatan tanah kohesif harus diperhitungkan sebagai tambahan kekuatan dukung tanah yang dihitung dengan rumus :

$$Q_s = \left[\sum_{l_i=0}^{l_i=8D} k_c \left[\frac{l_i}{8D} \right] \times H_{pi} \right] + \sum_{l_i=8D}^{l_i=L} k_c [H_{pi} \times \odot i]$$

dimana :

l_i = kedalaman ruas yang ditinjau (m)

k_c = faktor koreksi untuk clay atau sand

H_{pi} = Hambatan pelekat untuk ruas kedalaman l_i (kg/cm²)

$\odot i$ = keliling tiang untuk ruas kedalaman i (cm)

D = Diameter tiang pancang (cm)

L = Total panjang tiang (m)

("Schmertmann 1975)

Daya dukung ultimate dari satu tiang yang berdiri sendiri didapat dari penjumlahan kedua kondisi diatas.

$$Q_u = Q_c + Q_s$$

dimana :

Q_c = daya dukung akibat perlawanan ujung

Q_s = daya dukung akibat lekatan sepanjang keliling tiang.

Daya dukung ijin dari suatu tiang yang berdiri sendiri adalah daya dukung satu tiang dibagi dengan suatu angka keamanan (Safety Factor / SF)

$$\bar{P}_u \text{ 1 tiang} = \frac{Q_c + Q_s}{SF}$$

dimana :

SF = safety factor sesuai keadaan tanah = 3

Contoh Perhitungan

Tiang pancang direncanakan tiang bulat \varnothing 50 cm dan dipancang sampai kedalaman 22 m.

$$4 D = 4 \times 50 = 200 \text{ cm} = 2,0 \text{ m}$$

$$8 D = 8 \times 50 = 400 \text{ cm} = 4,0 \text{ m}$$

Dari data test sondir (terlampir) didapat :

- JHP = 750 Kg/cm

- Mulai kedalaman 18 m (8D) diatas tiang sampai dengan kedalaman 24 m (4D)
dibawah tiang diperoleh $\Sigma C_n = 855 \text{ kg/cm}^2$

$$\begin{aligned} C_{n_{\text{Rata-rata ujung}}} &= \frac{\Sigma C_n}{\text{jumlah titik perhitungan}} \\ &= \frac{250 + 230 + 175 + 120 + 40 + 40}{6} = 142,5 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

$Q_c = c_n \text{ rata-rata ujung} \times A \text{ ujung tiang}$

$$= 1/4 \pi 50^2 \times 142,5$$

$$= 279798 \text{ kg} = 279,8 \text{ ton}$$

$$Q_s = 117809,73 \text{ kg} = 117,8 \text{ ton}$$

$$Q_u = \frac{279,8 + 117,8}{3} = 132,53 \text{ ton}$$

Berdasarkan kekuatan tiang pancang

Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang produksi WIKA Type A 1 dengan diameter 50 cm. Dari brosur didapat bahwa daya dukungnya adalah sebagai berikut :

$$P_u \text{ 1 tiang} = 172,66 \text{ Ton}$$

$$M_u \text{ 1 tiang} = 15,75 \text{ Ton meter}$$

9.2.2. Beban Maksimum Tiang

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok tiang dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen-momen yang bekerja pada tiang.

Rumus yang dapat digunakan :

$$P_{\max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_{\max} \cdot X_{\max}}{\sum X^2} \leq P_{\text{ult}}$$

dimana :

P_{ult} = daya dukung ijin 1 tiang dalam kelompok

P_{\max} = beban maximum yang diterima 1 tiang pancang

$\sum P_u$ = Jumlah total beban aksial yang bekerja pada tiang (termasuk berat poer)

M_{\max} = momen max yang terjadi pada satu arah

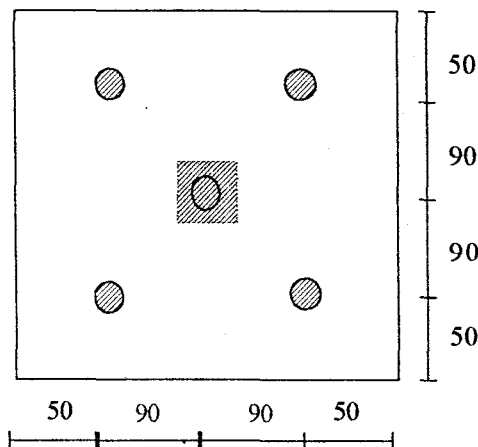
n = banyaknya tiang dalam kelompok tiang

X_{max} = jarak terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

ΣX^2 = jumlah dari kuadrat jarak tiap tiang

Contoh perhitungan :

Perencanaan pondasi tiang pancang pada P 1, dengan data-data sbb:



$$P_u = 527280 \text{ kg}$$

$$M_{max} = 13870 \text{ kg.m}$$

$$H_{ux} = 6570 \text{ kg}$$

Direncanakan 5 buah tiang yang masing-masing berdiameter 50 cm dengan poer (pile cap) berukuran $B \times L \times T = 280 \times 280 \times 100 \text{ cm}^3$ (BV beton = $2,4 \text{ t/m}^3$)

Untuk daya dukung tiang kelompok harus dikalikan dengan faktor efisiensi, yaitu :

$$\phi = \arctg (D/S)$$

$$= \arctg (50/90) = 19,05$$

$$\begin{aligned} \text{Eff} &= 1 - \phi \left[\frac{(n-1) m + (m-1) n}{90 n m} \right] \\ &= 1 - 19,05 \left[\frac{(3-1)3 + (3-1)3}{90 \times 3 \times 3} \right] \\ &= 0,57 \end{aligned}$$

$$P_{ult} = 0,72 \times 172,66 = 124,27 \text{ ton}$$

- ☐ Gaya normal rencana yang bekerja pada pondasi tiang pancang adalah :

$$\text{beban bangunan} = 527,28 \text{ ton}$$

$$\text{beban pile cap} = 2,8^2 \times 1 \times 2,4 = \underline{18,82 \text{ ton}} +$$

$$P_u = 546,096 \text{ ton}$$

- ☐ Beban P maksimum 1 tiang pancang :

$$P_{\text{maks}} = \frac{\sum P}{n} + \frac{M_{\text{max}} \cdot X_{\text{mak}}}{\sum x^2}$$

$$= \frac{546,096}{5} + \frac{13,87 \times 2}{2,8 \times 0,9^2}$$

$$= 121,45 \text{ ton} < P_{\text{ult}} \quad \dots \quad \text{OK}$$

9.2.3. Pengaruh Gaya Lateral (Horizontal)

Tiang pancang harus mampu menerima gaya tekan aksial dan momen akibat gaya horisontal dengan cara mengubah gaya horisontal menjadi momen tambahan yang bekerja pada tiang pancang . Momen yang terjadi akibat gaya horisontal ini harus dicek terhadap kekuatan bending dari tiang pancang yang digunakan.

Untuk mendapatkan momen akibat gaya horisontal ini, dapat digunakan rumus-rumus yang terdapat pada buku **Pedoman Perencanaan Untuk Beton Bertulang dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung tahun 1983** pada lampiran B.

PPUBBSTBG'83 menyebutkan bahwa tiang pancang dapat dibedakan antara tiang pendek dan tiang panjang. Tiang disebut tiang panjang jika panjang tiang yang ada lebih dari 12 m atau lebih dari panjang penunjang, yaitu panjang yang diperlukan oleh tiang untuk menyalurkan momen luar M dan beban horisontal H akibat beban kerja dari atas tiang ke tanah sekelilingnya tanpa melampaui tegangan lateral yang diijinkan.

Panjang penunjang L dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L = 1,44 \left(\sqrt[3]{\frac{M_o}{R}} \right) \quad (\text{ untuk tiang persegi })$$

atau juga dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pada gambar 8 - 2 (khusus untuk tiang pendek) buku Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983.

dimana :

L = panjang penunjang tiang

M_o = momen luar pada ujung tiang dalam kg m/m

R = tegangan tanah lateral yang diijinkan

= 1500 kg/cm/m (untuk tanah lempung lunak)

Karena rencana pemancangan tiang sampai kedalaman 22 m (> 12 m), maka tiang adalah tiang panjang sehingga metode perhitungannya mengikuti pasal B.4. Buku PPUBBSTBG'83.

☐ Langkah - langkah perhitungan momen akibat gaya lateral

1. Pilih H_o dari gaya lateral terbesar antara H_{ux} dan H_{uy} sebagai gaya lateral rencana.
2. Hitung nilai K dengan rumus :

$$K = \frac{H_o}{C_r \cdot D}$$

dimana :

- H_o = gaya lateral rencana per diameter tiang (kg/m)

- C_r = kekuatan kohesi rencana (kg/m^2)

$$= 0,5 C_u$$

- C_u = kekuatan kohesi tanah lempung

- D = diameter tiang yang digunakan (m)

3. Dari gambar 9.1. untuk tiang yang tertahan pada ujung (nilai $c/D = 0$), dan harga K_y yang telah dihitung, didapat harga K_x

4. Hitung momen akibat gaya lateral per diameter tiang (M_{uo}) dengan rumus :

$$M_{uo} = K_x \cdot C_r \cdot D^3 \leq M_{ult} \text{ tiang}$$

Contoh perhitungan

Adapun contoh perhitungan untuk mendapatkan momen akibat gaya lateral pada tiang adalah pondasi pada kolom As - 2 Kolom ke - 2

Beban -beban yang bekerja pada ujung kolom :

$$P_u = 527280 \text{ kg}$$

$$M_{ux} = 13870 \text{ kg.m}$$

$$H_{ux} = 6570 \text{ kg}$$

☐ Kekuatan tiang pancang WIKA type A 1 (brosur)

$$P_{ult} = 172,66 \text{ ton}$$

$$M_{ult} = 15,75 \text{ ton m}$$

☐ Hitung harga K_y

$$K_y = \frac{H_o}{C_r \cdot D} = \frac{6570}{600 \times 0,5} = 21,9$$

dimana : $C_r = 0,5 \times C_u = 0,5 \times 1200 = 600 \text{ kg/m}^2$

C_u diambil dari hasil test triaksial = $0,12 \text{ kg/cm}^2$

□ Tentukan harga K_y

Dari gambar 9.1 untuk nilai $e/D = 0$ dan $K_y = 21,9$ diperoleh harga $K_x = 27$

Jadi momen akibat gaya lateral

$$M_{uo} = K_x \cdot C_r \cdot D^3 = 27 \times 600 \times 0,5^3$$

$$= 2025 \text{ kg m} < 15750 \text{ kg m}$$

OK

9.3. PERENCANAAN POER (PILE CAP)

Poer direncanakan terhadap gaya geser pons pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur.

9.3.1. Perhitungan Geser Pons pada Poer

Dalam merencanakan tebal poer, harus dipenuhi syarat bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

Contoh perhitungan Geser Pons

Sebagai contoh perhitungan geser pons pada poer diambil poer P.1.

- Beban P_u $= 527,28 - 527,28/5 = 421,82 \text{ ton}$

- Mutu beton (f_c') $= 24,6 \text{ MPa}$

$$- \varnothing \text{ tulangan utama} = D.25 ; \quad f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$- \text{Tebal poer (h)} = 1 \text{ m} ; \quad d_c = 70 \text{ mm (bawah)}$$

$$- \text{Tinggi eff (d)} = 1000 - 70 - 1,5 \times 25 = 892,5 \text{ mm}$$

$$\phi V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_o \cdot d \quad (\text{PB'89 11.11.2.1})$$

tetapi tidak boleh lebih dari :

$$\phi V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \quad \text{atau} \quad \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \leq 2$$

dimana :

$$- \phi = 0,6$$

$$- \beta_c = \text{rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom}$$

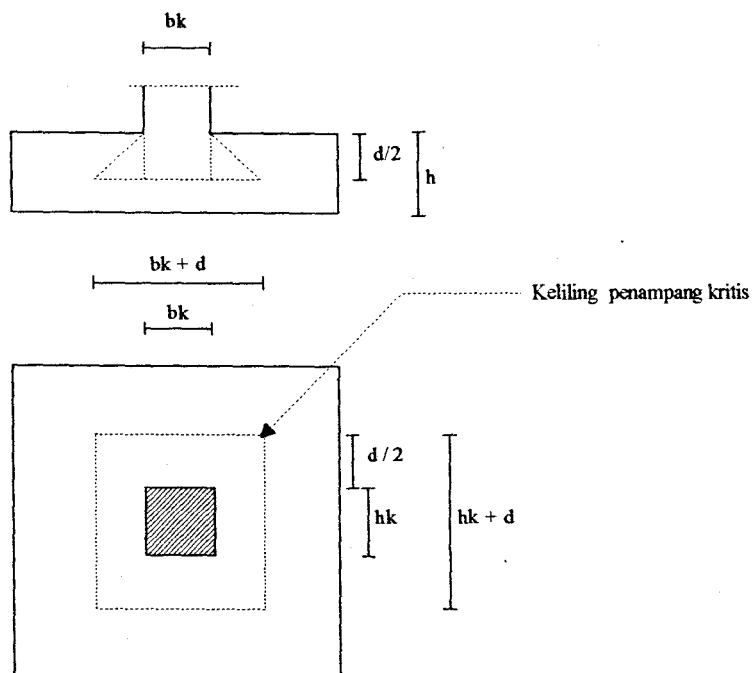
$$= 1 \text{ (kolom bujur sangkar)}$$

$$- \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) = 3 > 2 \rightarrow \text{dipakai batas } \phi V_c$$

$$- b_o = \text{keliling dari penampang kritis pada poer}$$

$$= 2 (b_k + h_k + 2d)$$

$$= 2 (800 + 800 + 2 \times 892,5) = 6770 \text{ mm}$$



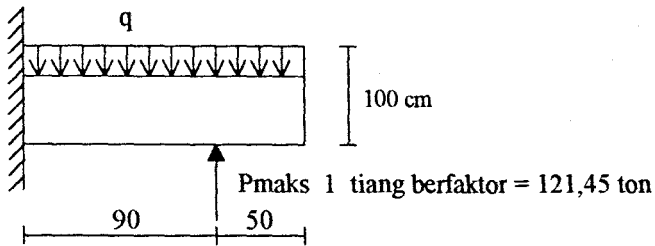
$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \\
 &= \frac{1}{3} \sqrt{24,6} \times 6770 \times 892,5 \\
 &= 9989487,144 \text{ N} \\
 &= 998,95 \text{ ton} > P_u = 527,28 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

(pasang tulangan geser min yang diambil dari tulangan lentur).

9.3.2. Penulangan Lentur Poer

Untuk perhitungan penulangan lentur, poer type 1 dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom.

Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu biasa.

Contoh perhitungan Penulangan Lentur PoerPOER TYPE 1

Diambil poer P.1 sebagai lanjutan contoh sebelumnya dimana momen arah X sama dengan momen arah Y.

$$Q = 2,8 \times 1 \times 2,4$$

$$= 6,7 \text{ t/m}^2$$

□ Momen yang bekerja : $M_{ux} = M_{uy} = M_u$

$$M_u = -1,4 \times P \times L + 0,5 \times Q \times L^2$$

$$= [-1,4 \times 121,45 \times 0,9] + [0,5 \times 6,7 \times 1,4^2]$$

$$= -146,46 \text{ tm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{146,46 \times 10^7}{0,8 \times 2800 \times 892,5^2} = 0,82 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{320}{0,85 \times 24,6} = 15,3$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,3} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,3 \times 0,82}{320}} \right]$$

$$= 0,0026 < \rho_{\min} = 0,0044$$

$$A_s = 0,0044 \times 280 \times 89,25 = 109,96 \text{ cm}^2$$

Dipakai Tulangan 24 D.25 ($A_s = 117,84 \text{ cm}^2$)

$$A_{s \text{ susut}} = 0,002 \times 2800 \times 892,5 = 49,98 \text{ cm}^2$$

Dipakai Tulangan 12 D.25 ($A_s = 58,92 \text{ cm}^2$)

9.3.3. Kontrol Geser Pada Penampang Kritis

Apabila geser yang terjadi lebih besar dari geser nominal beton, maka dibutuhkan tulangan geser yang diambil dari bengkokan tulangan utama bawah keatas dan membengkokkan tulangan utama atas ke bawah.

Contoh untuk Poer P1

$$\text{- Tulangan geser} = \text{D25} \quad A_v = 1963 \text{ mm}^2 \text{ (4 kaki)}$$

$$\text{- P max 1 tiang} = 121,45 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{- Penampang kritis} &= (B \text{ kolom} + d)/2 = (800 + 892,5)/2 \\ &= 796,3 \text{ mm dari pusat kolom} \end{aligned}$$

$$\text{- decking (dc)} = 50 \text{ mm (atas)}$$

$$\text{- d''} = 50 + (2 \times \text{diameter tulangan utama}) = 100 \text{ mm}$$

$$V_u = 1,4 \times P_{\text{max}} - Q \cdot L = 1,4 \times 121,45 - 6,7 \times 1,4 = 160,65 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,6 \times \frac{1}{6} \sqrt{24,6} \times 2800 \times 892,5$$

$$= 1239463,7 \text{ N} < V_u$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{\phi A_v \cdot f_y \cdot d}{(V_u - \phi V_c)} = \frac{0,6 \times 1963 \times 320 \times 892,5}{2132400 - 1239463,7} = 930 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ada}} = (B_{\text{poer}} - 2d) / (n \cdot \text{tulangan utama} - 1)$$

$$= (2800 - 200) / (32 - 1)$$

$$= 84 \text{ mm} < S_{\text{max}} \quad \text{OK}$$

9.4. PERENCANAAN SLOOF

Sloof atau tie beam menerima beban pelat, dinding, berat sendiri sloof, dan beban aksial tekan atau tarik (arah ke bawah). Disamping itu, sloof juga menerima beban akibat uplift air pada pelat lantai dasar (arah keatas).

Gaya aksial yang bekerja diambil sebesar 10% dari beban aksial kolom yang terjadi pada kondisi pembebanan gempa (Buku PPSBBBSTBUG'83 - 6.9.2).

Penentuan dimensi sloof dilakukan dengan memperhitungkan syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan tarik ijin beton (f_{ct}).

Pada perencanaan sloof ini, penulis mengambil ukuran sloof berdasarkan gaya normal kolom terbesar (kolom As - 2 kolom ke 3 $P_u = 942,94 \text{ ton}$). Sloof direncanakan berukuran 50 x 70 cm untuk semua sloof.

Chek terhadap tegangan tarik ijin beton (f_{ct}) :

$$f_{ct} = f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f_{c'}} \quad (\text{PB'89 Pasal 9.5.2.3})$$

$$= 0,7 \times \sqrt{24,6}$$

$$= 3,47 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 f_r \text{ yang terjadi} &= \frac{N_u}{\phi b h} \leq f_{ct} \\
 &= \frac{0,1 \times 9,43 \cdot 10^6}{0,8 \times 500 \times 700} \\
 &= 3,37 \text{ MPa} \leq f_{ct} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

9.4.1. Penulangan Lentur Sloof

Penulangan lentur sloof didasarkan pada kedua kondisi pembebanan (dari atas dan dari bawah) sehingga penulangannya berdasarkan kedua kondisi diatas seperti pada penulangan balok induk.

- ☐ ukuran sloof = 500 x 700 mm
- ☐ beton , f_c' = 24,6 MPa
- ☐ tulangan , f_y = 320 MPa
- ☐ decking (dc) = 70 mm (PB'89 psl 7.7.1)
- ☐ tulangan utama = D25
- ☐ sengkang = $\emptyset 12$
- ☐ tinggi efektif, d = 700 - 70 - 12 - 12,5 = 605,5 mm

Beban yang diterima sloof :

- ☐ berat sendiri sloof = 0,5 x 0,7 x 2400 = 840 kg/m
- ☐ berat dinding = 0,25 x 3 x 2400 = 1800 kg/m
- ☐ berat pelat lantai dasar diekivalenkan menjadi segitiga, trapesium.
 - q D pelat basement = 398 kg/m²
 - q L pelat basement = 800 kg/m²
 - q L uplift pelat = (- 3000 + 1,2 x 398) = - 2522,4 kg/m² (keatas)

Hasil penulangan lentur sloof dapat dilihat pada tabel.

9.4.2. Penulangan Geser Dan Torsi Sloof

Penulangan geser - torsi untuk sloof dihitung dengan cara yang sama seperti pada penulangan geser - torsi balok induk. Selanjutnya hasil penulangan geser - torsi sloof dapat dilihat pada tabel.

Tabel 9.1 : Perhitungan Qs untuk kedalaman 0 sampai 8D

Kedalaman (m)	Kc	l/8D	Hpi (t/m^2)	Qs (ton)
0 - 1.0	1	0.25	2.5	0.625
1.0 - 2.0	0,95	0.50	2.5	1.188
2.0 - 3.0	0,85	0.75	2.5	1.594
3.0 - 4.0	0,80	1.00	2.5	2.000

$\Sigma = 5.407$

Tabel 9.2 : Perhitungan Qs untuk kedalaman 8D sampai L

Kedalaman	Kc	Hpi (t/m^2)	Keliling (m)	Qs (ton)
4.0 - 5.0	0.80	3.00	1.571	3.770
5.0 - 6.0	0.80	3.00	1.571	3.770
6.0 - 7.0	0.72	3.50	1.571	3.959
7.0 - 8.0	0.69	4.00	1.571	4.336
8.0 - 9.0	0.65	5.00	1.571	5.106
9.0 - 10.0	0.65	5.50	1.571	5.616
10.0 - 11.0	0.62	6.00	1.571	5.844
11.0 - 12.0	0.60	7.00	1.571	6.598
12.0 - 13.0	0.58	7.50	1.571	6.834
13.0 - 14.0	0.55	8.00	1.571	6.912
14.0 - 15.0	0.50	9.00	1.571	7.070
15.0 - 16.0	0.50	9.00	1.571	7.070
16.0 - 17.0	0.50	9.50	1.571	7.462
17.0 - 18.0	0.50	9.50	1.571	7.462
18.0 - 19.0	0.50	9.50	1.571	7.462
19.0 - 20.0	0.50	9.50	1.571	7.462
20.0 - 21.0	0.50	10.00	1.571	7.855
21.0 - 22.0	0.50	10.00	1.571	7.855

$\Sigma = 112.444$

TABEL 7.9-A. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA SLOOF

fc' = 24.6 MPa

fy = 320 MPa

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (dc) = 70 mm

Tulangan utama = D.28

Diameter begel = ϕ 12 ρ_{bat} = 0.0362 ρ_{max} = 0.027 ρ_{min} = 0.0044

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Dacrah	d (mm)	bs (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As. A	SL 1	50	70	Tump. (+)	604	500	4.578E+08	15.3	3.137	0.0107	0.0107	32.240	2.151	34.391	6 D 28	36.960		32.312
		50	70	Lap.	604	1167	2.123E+08	15.3	1.455	0.0047	0.0047	14.244	4.619	18.863	4 D 28	24.640		
As. B	SL 2	50	70	Tump. (+)	604	500	4.988E+08	15.3	3.418	0.0117	0.0117	35.441	3.879	39.320	7 D 28	43.120	18.854	
		50	70	Lap.	604	2000	2.415E+08	15.3	1.655	0.0054	0.0054	16.291	3.764	20.055	4 D 28	24.640		
As. C	SL 3	50	70	Tump. (+)	604	500	4.474E+08	15.3	3.066	0.0104	0.0104	31.438	4.399	35.837	6 D 28	36.960	18.854	
		50	70	Lap.	604	2000	2.059E+08	15.3	1.411	0.0046	0.0046	13.798	4.784	18.582	4 D 28	24.640		
As. D	SL 4	50	70	Tump. (+)	604	500	4.898E+08	15.3	3.356	0.0115	0.0115	34.733	0.823	35.556	6 D 28	36.960	18.854	
		50	70	Lap.	604	2000	2.398E+08	15.3	1.643	0.0054	0.0054	16.171	3.703	19.874	4 D 28	24.640		
As. E	SL 5	50	70	Tump. (+)	604	500	4.321E+08	15.3	2.961	0.0100	0.0100	30.266	4.429	34.694	6 D 28	36.960	18.854	
		50	70	Lap.	604	2000	2.342E+08	15.3	1.605	0.0052	0.0052	15.777	3.703	19.480	4 D 28	24.640		
As. F	SL 6	50	70	Tump. (+)	604	500	4.447E+08	15.3	3.047	0.0103	0.0103	31.231	0.841	32.072	6 D 28	36.960	18.854	
		50	70	Lap.	604	2000	2.323E+08	15.3	1.592	0.0052	0.0052	15.643	3.585	19.228	4 D 28	24.640		
As. G	SL 7	50	70	Tump. (+)	604	500	4.894E+08	15.3	3.354	0.0115	0.0115	34.701	3.882	38.583	7 D 28	43.120	18.854	
		50	70	Lap.	604	2000	2.411E+08	15.3	1.652	0.0054	0.0054	16.263	3.799	20.062	4 D 28	24.640		
As. H	SL 8	50	70	Tump. (+)	604	500	4.259E+08	15.3	2.919	0.0099	0.0099	29.793	1.026	30.819	6 D 28	36.960		32.312
		50	70	Lap.	604	1167	2.071E+08	15.3	1.419	0.0046	0.0046	13.882	4.759	18.641	4 D 28	24.640		

TABEL 7.9-B. PENULANGAN GESER DAN TORSI SLOOF

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (d_c) = 70 mmDiameter begel = $\phi 12$ Av ada (dua kaki) = 226.286 mm² $x_1 = b - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$ $y_1 = h - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Daerah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	ϕV_c (N)	ϕT_c (N mm)	ϕV_s (N)	ϕT_s (N mm)	A_v/s (mm ² /mm)	A_t/s (mm ² /mm)	A_vt/s (mm ² /mm)	s_{perlu} (mm)	s_{maks} (mm)	s_{pasang} (mm)	Al (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As. A	SL 1	50	70	348	548	Tump	604	1.951E+05	3.398E+07	6.889E+04	2.400E+07	1.262E+05	9.98E+06	1.088	0.229	1.546	146	224	140	8.604
		50	70	348	548	Lap.	604	6.930E+04	3.398E+07	4.793E+04	4.700E+07	2.137E+04	0.00E+00	0.184	0.000	0.184	1228	224	220	18.474
As. B	SL 2	50	70	348	548	Tump	604	3.211E+05	6.889E+07	7.250E+04	3.111E+07	2.486E+05	3.78E+07	2.144	0.866	3.876	58	224	50	15.517
		50	70	348	548	Lap.	604	9.860E+04	6.889E+07	5.723E+04	7.997E+07	4.137E+04	0.00E+00	0.357	0.000	0.357	634	224	220	15.058
As. C	SL 3	50	70	348	548	Tump	604	3.873E+05	6.889E+07	7.322E+04	2.605E+07	3.141E+05	4.28E+07	2.708	0.982	4.672	48	224	40	17.595
		50	70	348	548	Lap.	604	1.047E+05	6.889E+07	5.863E+04	7.715E+07	4.607E+04	0.00E+00	0.397	0.000	0.397	570	224	220	19.136
As. D	SL 4	50	70	348	548	Tump	604	3.919E+05	6.889E+07	7.326E+04	2.575E+07	3.186E+05	4.31E+07	2.748	0.989	4.725	48	224	40	3.293
		50	70	348	548	Lap.	604	1.011E+05	6.889E+07	5.782E+04	7.880E+07	4.328E+04	0.00E+00	0.373	0.000	0.373	606	224	220	14.812
As. E	SL 5	50	70	348	548	Tump	604	3.919E+05	6.889E+07	7.326E+04	2.575E+07	3.186E+05	4.31E+07	2.748	0.989	4.725	48	224	40	17.716
		50	70	348	548	Lap.	604	1.011E+05	6.889E+07	5.782E+04	7.880E+07	4.328E+04	0.00E+00	0.373	0.000	0.373	606	224	20	14.812
As. F	SL 6	50	70	348	548	Tump	604	3.875E+05	6.889E+07	7.322E+04	2.603E+07	3.143E+05	4.29E+07	0.521	0.982	2.485	91	224	90	3.365
		50	70	348	548	Lap.	604	1.061E+05	6.889E+07	5.893E+04	7.652E+07	4.717E+04	0.00E+00	0.521	0.000	0.521	434	224	220	14.339
As. G	SL 7	50	70	348	548	Tump	604	3.214E+05	6.889E+07	7.250E+04	3.108E+07	2.489E+05	3.78E+07	2.146	0.867	3.879	58	224	50	15.529
		50	70	348	548	Lap.	604	9.720E+04	6.889E+07	5.689E+04	8.064E+07	4.031E+04	0.00E+00	0.348	0.000	0.348	651	224	220	15.198
As. H	SL 8	50	70	348	548	Tump	604	1.952E+05	3.398E+07	6.889E+04	2.399E+07	1.263E+05	9.99E+06	1.089	0.229	1.547	146	224	140	4.105
		50	70	348	548	Lap.	604	6.530E+04	3.398E+07	4.623E+04	4.812E+07	1.907E+04	0.00E+00	0.164	0.000	0.164	1376	224	220	19.034

TABEL 7.9-C. PERHITUNGAN TULANGAN UTAMA SLOOF

$f_c' = 24.6 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai = 120 mm

Penutup beton (dc) = 70 mm

Tulangan utama = D.28

Diameter begel = $\phi 12$

$\rho_{bal} = 0.0362$

$\rho_{max} = 0.027$

$\rho_{min} = 0.0044$

Lajur	Tipe Balok	Dimensi balok		Daerah	d (mm)	b _s (mm)	Mu (N mm)	m	Rn (MPa)	ρ perlu	ρ pakai	As perlu (cm ²)	Al perlu (cm ²)	As total (cm ²)	Pakai tulangan lentur	As terpasang (cm ²)	Kontrol balok T a (mm)	Kontrol balok L a (mm)
		b (cm)	h (cm)															
As.1	SL 9	50	70	Tump. (+)	604	500	4.758E+08	15.3	3.261	0.0111	0.0111	33.64	1.62	35.26	6 D 28	36.96		
		50	70	Lap.	604	1040	2.555E+08	15.3	1.751	0.0057	0.0057	17.28	3.00	20.28	4 D 28	24.64		36.26
As.1	SL 10	50	70	Tump. (+)	604	500	4.414E+08	15.3	3.025	0.0103	0.0103	30.98	1.24	32.22	6 D 28	36.96		
		50	70	Lap.	604	917	2.114E+08	15.3	1.449	0.0047	0.0047	14.18	2.28	16.46	3 D 28	18.48		30.84
As.1	SL 11	50	70	Tump. (+)	604	500	4.888E+08	15.3	3.350	0.0115	0.0115	34.65	1.90	36.55	6 D 28	36.96		
		50	70	Lap.	604	1167	2.187E+08	15.3	1.499	0.0049	0.0049	14.69	4.93	19.62	4 D 28	24.64		32.31
As.2	SL 12	50	70	Tump. (+)	604	500	4.989E+08	15.3	3.419	0.0117	0.0117	35.45	0.98	36.43	6 D 28	36.96		
		50	70	Lap.	604	1625	2.620E+08	15.3	1.795	0.0059	0.0059	17.74	2.64	20.38	4 D 28	24.64	23.21	
As.2	SL 13	50	70	Tump. (+)	604	500	4.329E+08	15.3	2.967	0.0100	0.0100	30.33	2.16	32.49	6 D 28	36.96		
		50	70	Lap.	604	1250	2.451E+08	15.3	1.680	0.0055	0.0055	16.54	2.23	18.77	4 D 28	24.64	30.17	
As.2	SL 14	50	70	Tump. (+)	604	500	5.011E+08	15.3	3.434	0.0118	0.0118	35.62	0.81	36.43	6 D 28	36.96		
		50	70	Lap.	604	2000	2.789E+08	15.3	1.911	0.0063	0.0063	18.95	2.58	21.52	4 D 28	24.64	18.85	

TABEL 7.9-D. PENULANGAN GESER DAN TORSI SLOOF

 $f_c' = 24.6 \text{ MPa}$ Penutup beton (d_c) = 70 mm $f_y = 320 \text{ MPa}$ Diameter begel = $\phi 12$

Tebal pelat lantai = 120 mm

 $A_v \text{ ada (dua kaki)} = 226.286 \text{ mm}^2$ $x_1 = b - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$ $y_1 = h - 2 \cdot d_c - \phi \text{ begel}$

Lajur	Tipe Balok	x		x_1 (mm)	y_1 (mm)	Daerah	d (mm)	V_u (N)	T_u (N mm)	ϕV_c (N)	ϕT_c (N mm)	ϕV_s (N)	ϕT_s (N mm)	A_v/s (mm ² /mm)	A_t/s (mm ² /mm)	A_vt/s (mm ² /mm)	s_{pak} (mm)	s_{max} (mm)	s_{pmax} (mm)	Al (cm ²)
		b (cm)	h (cm)																	
As.1	SL 9	50	70	348	548	Tump	604	2.513E+05	3.031E+07	7.110E+04	1.715E+07	1.802E+05	1.32E+07	1.554	0.302	2.157	105	224	100	6.48
		50	70	348	548	Lap.	604	1.352E+05	3.031E+07	6.378E+04	2.860E+07	7.142E+04	1.71E+06	0.616	0.039	0.694	326	224	220	11.99
As.1	SL 10	50	70	348	548	Tump	604	2.573E+05	2.711E+07	7.126E+04	1.502E+07	1.860E+05	1.21E+07	1.604	0.277	2.159	105	224	100	4.97
		50	70	348	548	Lap.	604	1.841E+05	2.711E+07	6.825E+04	2.010E+07	1.159E+05	7.01E+06	0.999	0.161	1.320	171	224	170	9.12
As.1	SL 11	50	70	348	548	Tump	604	3.172E+05	3.398E+07	7.244E+04	1.552E+07	2.448E+05	1.85E+07	2.111	0.423	2.957	77	224	70	7.58
		50	70	348	548	Lap.	604	9.860E+04	3.398E+07	5.723E+04	3.945E+07	4.137E+04	0.00E+00	0.357	0.000	0.357	634	224	220	19.72
As.2	SL 12	50	70	348	548	Tump	604	3.560E+05	5.092E+07	7.293E+04	2.086E+07	2.831E+05	3.01E+07	2.441	0.689	3.819	59	224	50	3.92
		50	70	348	548	Lap.	604	1.575E+05	5.092E+07	6.622E+04	4.282E+07	9.128E+04	8.10E+06	0.787	0.186	1.159	195	224	190	10.54
As.2	SL 13	50	70	348	548	Tump	604	3.424E+05	3.665E+07	7.278E+04	1.558E+07	2.696E+05	2.11E+07	2.325	0.483	3.291	69	224	60	8.65
		50	70	348	548	Lap.	604	1.883E+05	3.665E+07	6.850E+04	2.666E+07	1.198E+05	9.98E+06	1.033	0.229	1.491	152	224	150	8.92
As.2	SL 14	50	70	348	548	Tump	604	3.947E+05	6.889E+07	7.328E+04	2.558E+07	3.214E+05	4.33E+07	0.521	0.993	2.506	90	224	90	3.25
		50	70	348	548	Lap.	604	1.615E+05	6.889E+07	6.658E+04	5.679E+07	9.492E+04	1.21E+07	0.521	0.277	1.075	210	224	210	10.31

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1. KESIMPULAN

Dari perencanaan yang telah penulis lakukan pada tugas akhir ini, penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

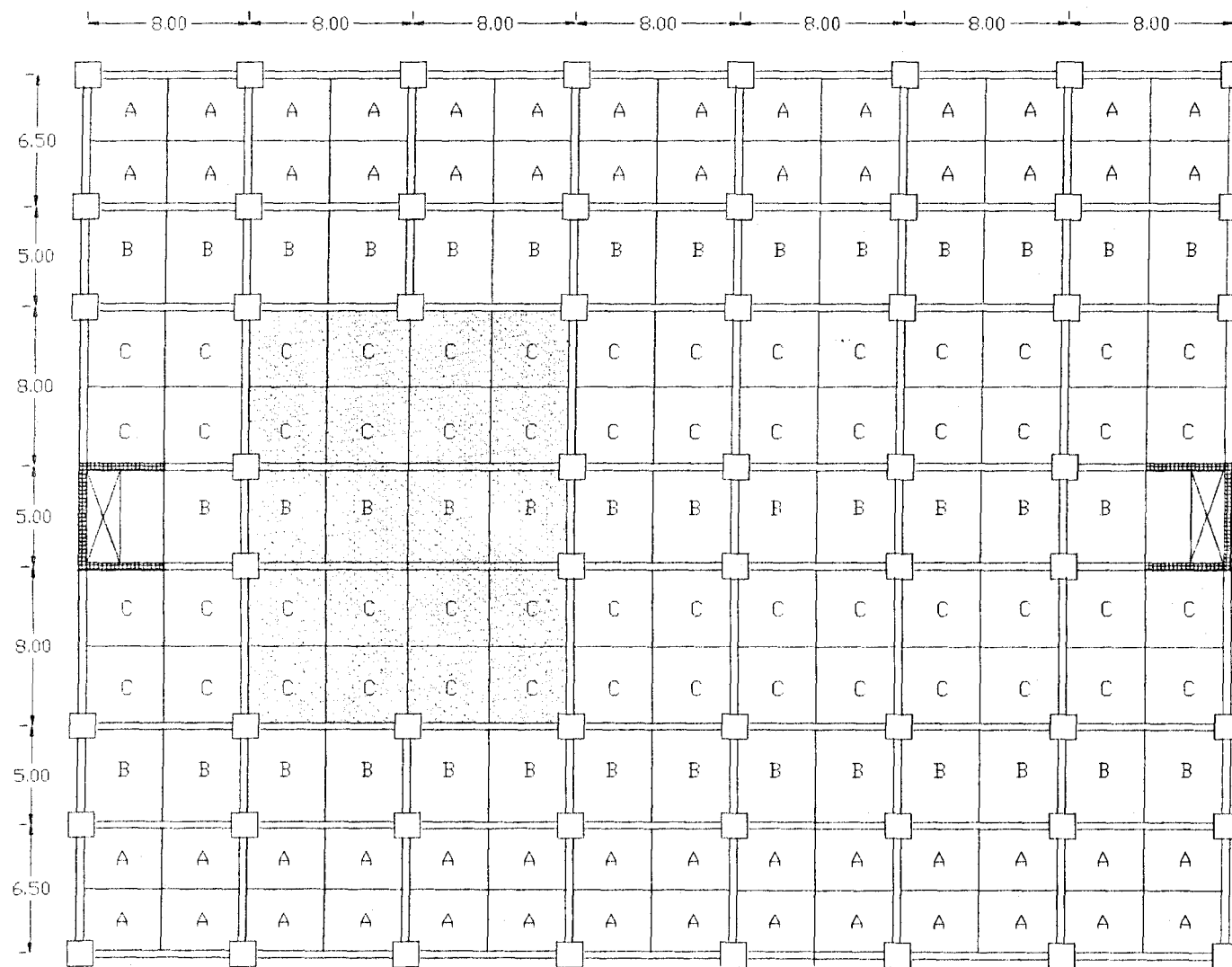
1. Dari hasil analisa struktur utama pada tugas akhir ini, didapatkan bahwa distribusi gaya puntiran (momen torsi) pada kolom tersebar merata untuk semua kolom. Hal ini disebabkan karena pelat dianggap sebagai diafragma kaku yang mempunyai suatu master joint tertentu sebagai pusat kekakuan dari pelat tersebut, sehingga displacement dari joint-joint pada suatu lantai akan tergantung pada master jointnya.
2. Pemilihan tingkatan daktilitas harus benar-benar mewakili keadaan gedung sesungguhnya, misalnya : untuk daerah Jakarta (zone gempa 4) kita tidak perlu merencanakan struktur bangunan dengan tingkat daktilitas 1 (full elastic response) dengan pembesaran beban gempa 4 kali gempa dasar karena pada zone 4 frekwensi gempa yang terjadi cukup jarang dan walaupun ada, gempa yang terjadi tidak terlalu besar seperti pada zone 1 sehingga tingkat daktilitas satu kurang cocok untuk dipakai pada daerah dimana frekwensi gempanya jarang. Pemilihan daktilitas yang paling cocok untuk zone gempa 4 adalah daktilitas 2 (terbatas) atau daktilitas 4 (penuh). Penulis mengambil tingkat daktilitas 2 (terbatas) dengan pertimbangan bahwa penggunaan tingkat daktilitas 2 dalam perencanaan struktur, cukup memberikan tingkat kemudahan perencanaan maupun pelaksanaannya dibandingkan dengan penggunaan tingkat daktilitas 4 (daktilitas penuh/disain kapasitas) yang lebih rumit.

3. Permodelan struktur terhadap gempa juga harus disesuaikan dengan keadaan yang ada. Struktur jenis A,B1,B2 dan C praktis kurang tepat digunakan dalam perencanaan gedung ini karena tinggi gedung yang ada melebihi tinggi maksimum yang disyaratkan (buku PPUSBBSTBUG'83). Jenis struktur yang paling cocok dipakai di Indonesia adalah jenis D (open frame) karena disamping persyaratannya fleksibel terhadap ketinggian, juga mutu tembok pasangan bata di Indonesia sekarang ini masih belum cukup untuk dikatakan ikut memikul struktur.
4. Penggunaan system pratekan dalam sebuah struktur gedung bertingkat, khususnya pada unsur - unsur balok, harus dipertimbangkan dengan seksama sebelum akhirnya dianggap layak. Berbagai faktor yang berkaitan dengan hal - hal seperti fungsi bangunan, kemampuan layan balok, kemudahan pelaksanaan, akan menentukan pertimbangan system pratekan dipakai..
5. Unsur sekunder (mis : tangga) sedapat mungkin dipisahkan dari struktur utama karena jika tidak dipisahkan, maka kemungkinan besar akan terjadi keruntuhan setempat pada daerah sekitarnya akibat kesalahan idealisasi yang dilakukan. Unsur sekunder boleh tidak dipisahkan dari struktur utamanya asalkan pada perhitungan struktur utama, unsur sekunder tersebut harus diikutsertakan dalam pendistribusian gaya dalam yang terjadi, karena unsur skunder yang tidak dipisahkan akan mempengaruhi kekakuan dari struktur utamanya sehingga otomatis akan mempengaruhi respons dari gedung.
6. Kolom harus direncanakan terhadap momen dua arah (biaksial bending) dengan pemilihan dimensi kolom yang seekonomis mungkin. Artinya jumlah tulangan yang diperlukan tidak boleh terlalu sedikit (sebesar $\rho < 1\%$) dan tidak boleh terlalu rapat ($\rho > 8\%$).
7. Dimensi poer harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dipenuhi keadaan-ketebalan poer harus lebih besar dari tebal minimum akibat geser pons yang terjadi, tapi harus dipertimbangkan lagi terhadap gaya geser yang terjadi pada penampang kritis (daerah sekitar kolom bawah).

8. Yang perlu diperhatikan juga adalah bahwa sebetulnya dalam melakukan perhitungan mencari gaya jacking pada balok pratekan, haruslah dimasukkan faktor perancah yang juga membebani struktur pada saat jacking, dimana pada Tugas Akhir ini penulis belum melakukannya.

10.2. SARAN

Dengan segala kerendahan hati penulis merasa dan mengakui bahwa masih terdapat banyak sekali kekurangan pada tugas akhir ini, baik itu akibat kesalahan penulis dalam melakukan perhitungan ataupun keterbatasan penulis akan pengetahuan yang ada. Untuk itu penulis sangat menghargai bila ada koreksi maupun masukan pada tugas akhir ini dari pembaca sekalian.



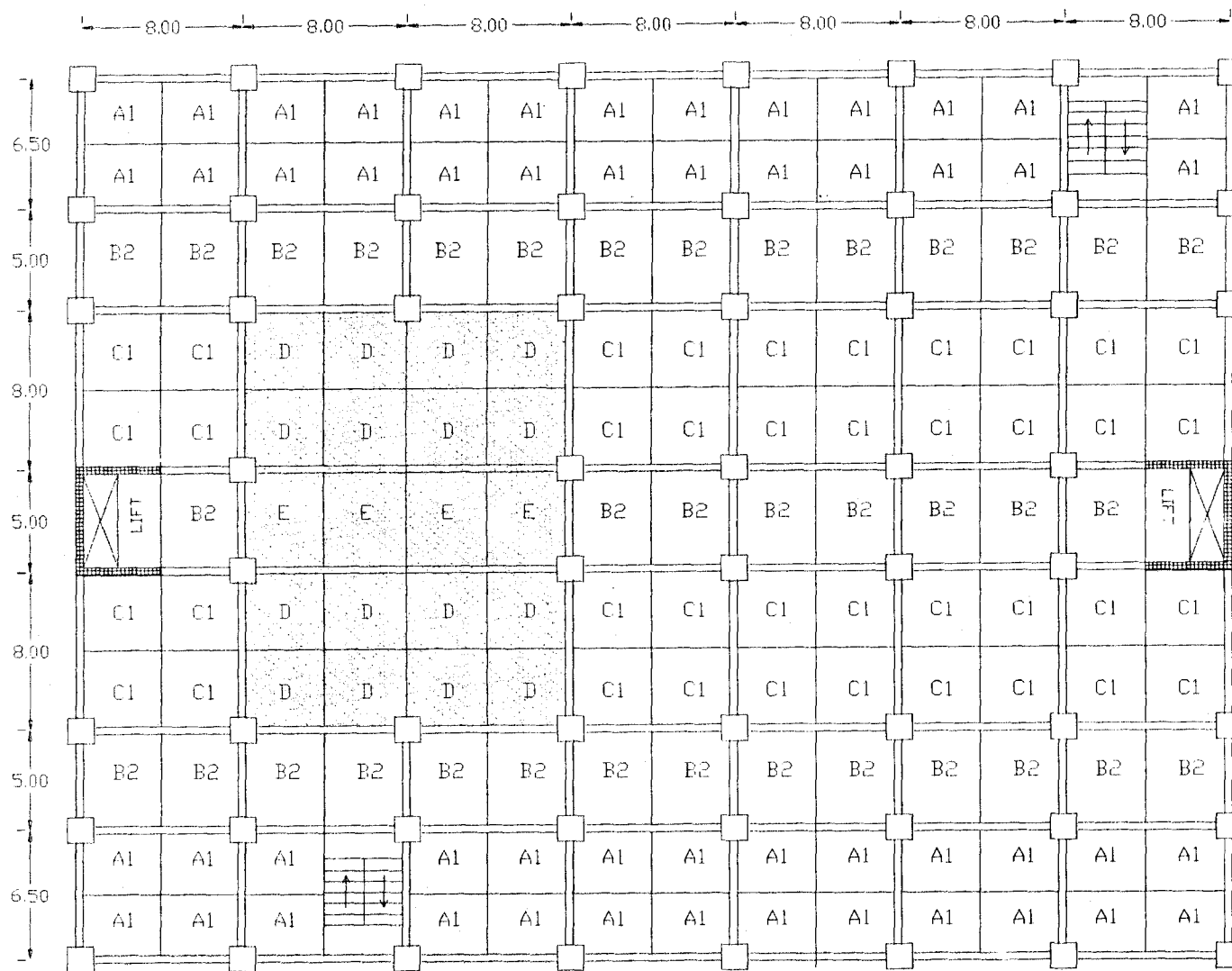
note :

Dimensi Balok Induk : 50/70

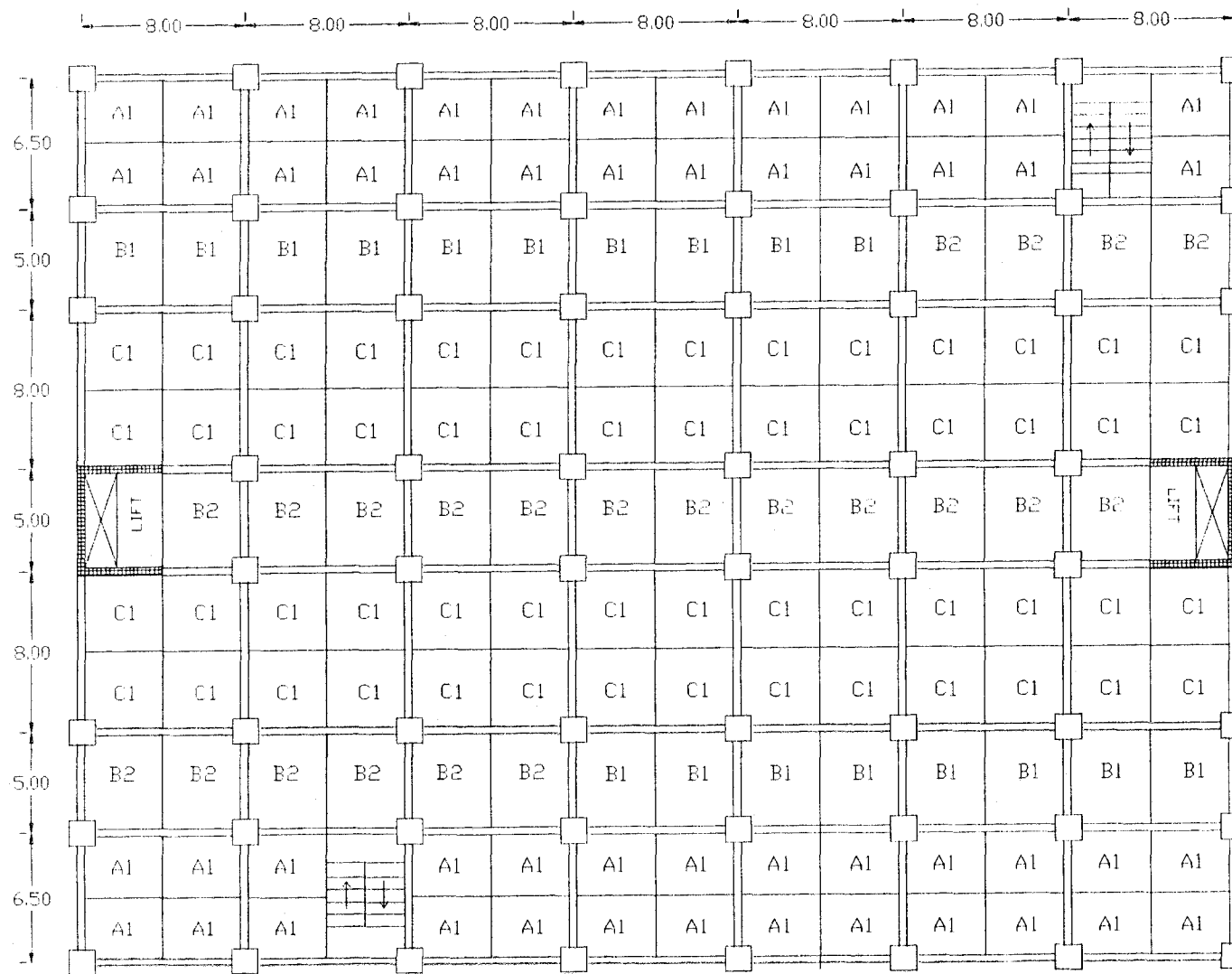
Dimensi Balok Anak : 30/60

===== Balok Induk
 ----- Balok Anak
 ===== X ===== Shear Wall

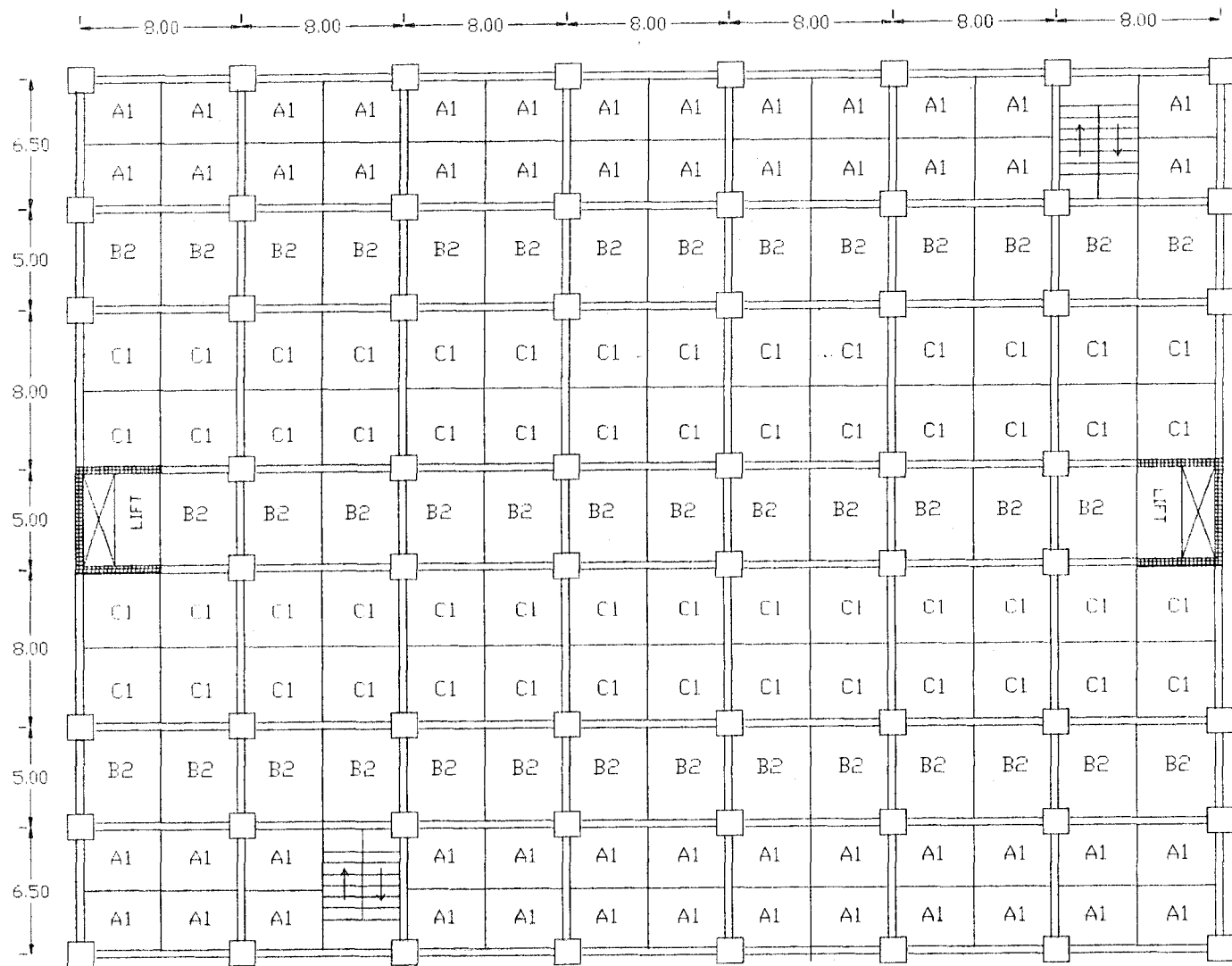
DENAH PELAT LANTAI ATAP



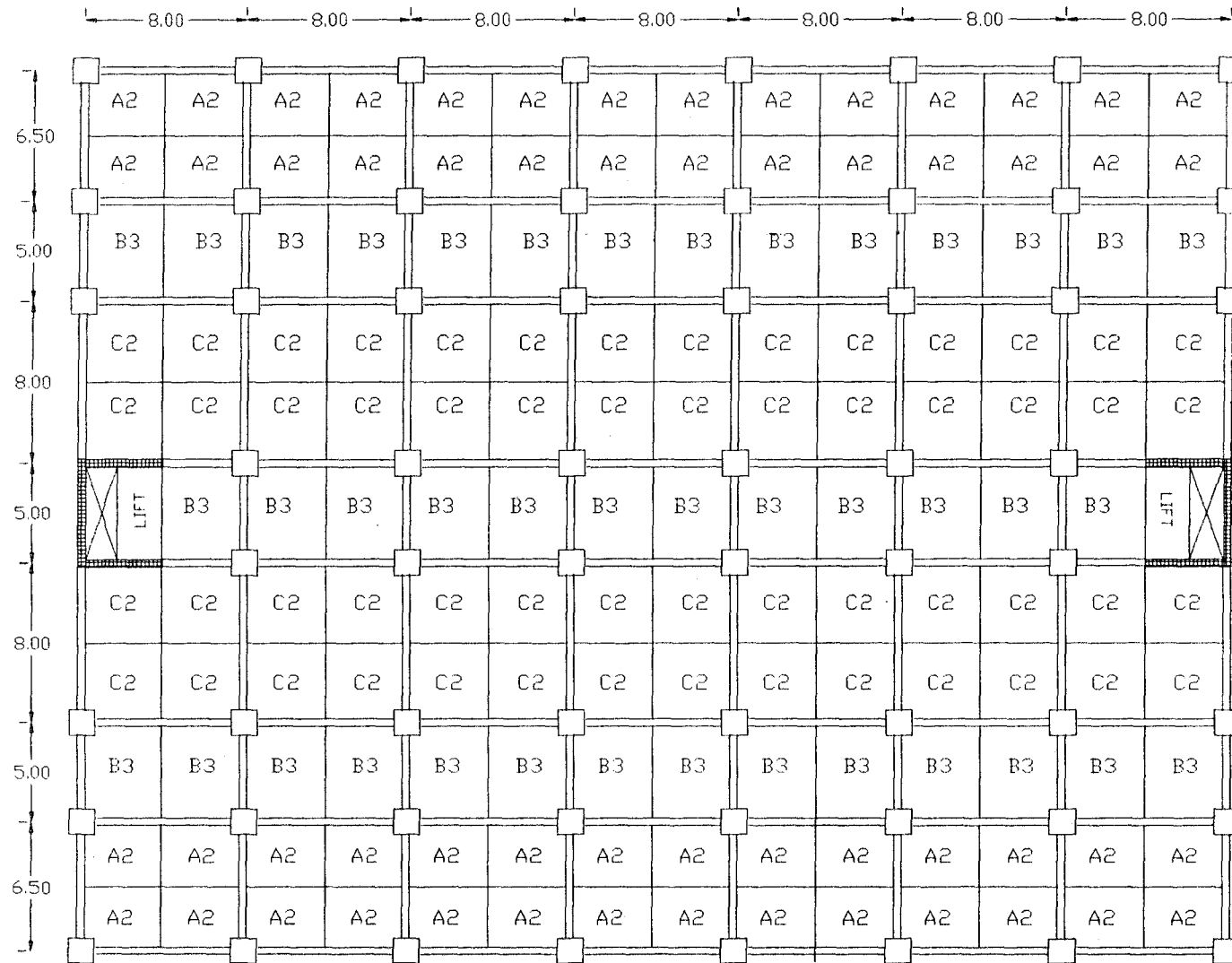
DENAH PELAT LANTAI 9-10 TYPICAL



DENAH PELAT LANTAI 3-8 TYPICAL



DENAH PELAT LANTAI 1-2 TYPICAL



DENAH PELAT LANTAI BASEMENT

ANALISA DINDING BASEMENT [KG-M]

SYSTEM

L=1

JOINTS

1 X=0

2 X=3

:

RESTRAINTS

1,1,0 R=1,1,1,1,0,1

2,2,0 R=1,1,1,1,0,1

:

FRAME

NM=1 NL=1

1 B=0.25 D=1 E=2.33E9 W=2400*0.25*1

1 PLD=1,0,-7187.07,1.5,0,-888

1,2,1 M=1 LP=1,0 NSL=1

:

ANALISA TANGGA TUNJUNGAN CRYSTAL HOTEL [KG-M]

AGUS SURYANEGARA

393 310 1278 - SIPIL ITS

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0	Z=0
2	X=4	Z=1.75
3	X=5.25	Z=1.75
4	X=0	Z=3.5

:

RESTRAINTS

1,4,1	R=0,1,0,1,0,1
1,4,3	R=1,1,1,1,0,1
3,3,0	R=0,1,1,1,0,1

:

FRAME

NM=2 NL=2

1	SH=R	T=0.23,2	E=2.33E9
---	------	----------	----------

2	SH=R	T=0.15,4	E=2.33E9
---	------	----------	----------

1	WG=0,0,-1370.86
---	-----------------

2	WG=0,0,-1080
---	--------------

1,2,1	M=1	LP=1,0	NSL=1	G=1,2,0,3
-------	-----	--------	-------	-----------

2,3,2	M=2	LP=1,0	NSL=2
-------	-----	--------	-------

:

ANALISA PELAT LANTAI [KG-M]

AGUS SURYANEGARA

393 310 1278 - TEKNIK SIPIL ITS

SYSTEM

L=1 : BEBAN GRAVITASI

JOINTS

1 X=0 Y=0
9 X=4 Y=0
91 X=0 Y=5
99 X=4 Y=5 Q=1,9,91,99,1,9

:

RESTRAINTS

1,99,1 R=1,1,0,0,0,1
1,9,1 R=1,1,1,1,1,1
1,91,9 R=1,1,1,1,1,1
9,99,9 R=1,1,1,1,1,1
91,99,1 R=1,1,1,1,1,1

:

SHELL

NM=1 P=-1 Z=-1

1 E=2.33E9 W=2400 U=0.2

1 JQ=1,2,10,11 M=1 ETYPE=2 TH=0.12 G=8,10

:

POTENTIAL

2,92,9 P=977.2,977.2
3,93,9 P=977.2,977.2
4,94,9 P=977.2,977.2
5,95,9 P=977.2,977.2
6,96,9 P=977.2,977.2
7,97,9 P=977.2,977.2
8,98,9 P=977.2,977.2

:

LOADS

C BEBAN TEMBOK (1700*0.15*3.25*4)

66,70,1 F=0,0,-414.4 :3315/8

65,71,6 F=0,0,-621.6

:

ANALISA BALOK GRID LANTAI ATAP[KG-M]

AGUS SURYANEGARA

393 310 1278 - SIPIL ITS

SYSTEM

L=2

JOINTS

1	X=0	Y=0	
15	X=56	Y=0	
31	X=0	Y=6.5	
45	X=56	Y=6.5	Q=1,15,31,45,1,15
46	X=0	Y=11.5	
60	X=56	Y=11.5	
76	X=0	Y=19.5	
90	X=56	Y=19.5	Q=46,60,76,90,1,15
91	X=0	Y=24.5	
105	X=56	Y=24.5	
121	X=0	Y=32.5	
135	X=56	Y=32.5	Q=91,105,121,135,1,15
136	X=0	Y=37.5	
150	X=56	Y=37.5	
166	X=0	Y=44	
180	X=56	Y=44	Q=136,150,166,180,1,15

:

RESTRAINTS

1,15,1	R=1,1,1,1,1,1
1,166,15	R=1,1,1,1,1,1
166,180,1	R=1,1,1,1,1,1
15,180,15	R=1,1,1,1,1,1
33,43,2	R=1,1,1,1,1,1
48,58,2	R=1,1,1,1,1,1
78,88,2	R=1,1,1,1,1,1
93,103,2	R=1,1,1,1,1,1
123,133,2	R=1,1,1,1,1,1
138,148,2	R=1,1,1,1,1,1
18,28,2	R=1,1,1,1,0,1
32,44,2	R=1,1,1,0,1,1
47,59,2	R=1,1,1,0,1,1
63,73,2	R=1,1,1,1,0,1
77,89,2	R=1,1,1,0,1,1
92,104,2	R=1,1,1,0,1,1
108,118,2	R=1,1,1,1,0,1
122,134,2	R=1,1,1,0,1,1
137,149,2	R=1,1,1,0,1,1
153,163,2	R=1,1,1,1,0,1

:

FRAME

NM=2 NL=18 Z=-1 NSEC=3

C MATERIAL DATA

1	SH=R	T=0.3,0.6	E=2.33E9 W=2400*0.3*0.6	:balok anak
2	SH=R	T=0.5,0.7	E=2.33E9 W=2400*0.5*0.7	:balok induk

C BEBAN MATI

1	WG=0,0,-360.8
2	WG=0,0,-721.6
3	WG=0,0,-422
4	WG=0,0,-844
5	WG=0,0,-444
6	WG=0,0,-888
7	WG=0,0,-523.9
8	WG=0,0,-1047.8

9 WG=0,0,-866
 C BEBAN HIDUP
 10 WG=0,0,-130
 11 WG=0,0,-260
 12 WG=0,0,-152.1
 13 WG=0,0,-304.2
 14 WG=0,0,-160
 15 WG=0,0,-320
 16 WG=0,0,-188.8
 17 WG=0,0,-377.6
 18 WG=0,0,-312.1

C BALOK ANAK ARAH X

1,2,1	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=3,12
15,17,16	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=4,13
29,32,31	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=9,18
43,47,46	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
57,62,61	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
71,77,76	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
85,92,91	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
99,107,106	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
113,122,121	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
127,137,136	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=9,18
141,152,151	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=4,13
155,167,166	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=3,12

C BALOK ANAK ARAH Y

169,1,16	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
170,2,17	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11
184,16,31	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
185,17,32	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11
199,31,46	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=7,16
200,32,47	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=8,17
214,46,61	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
215,47,62	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
229,61,76	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
230,62,77	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
244,76,91	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=7,16
245,77,92	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=8,17
259,91,106	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
260,92,107	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
274,106,121	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
275,107,122	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
289,121,136	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=7,16
290,122,137	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=8,17
304,136,151	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
305,137,152	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11
319,151,166	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
320,152,167	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11

:

COMBO

1 C=1.2,1.6	:1.2 DL + 1.6 LL
2 C=1,0	:1.0 DL
3 C=0,1	:1.0 LL

ANALISA BALOK GRID LANTAI 3-8 [KG-M]

AGUS SURYANEGARA

393 310 1278 - SIPIL ITS

SYSTEM

L=2

JOINTS

1	X=0	Y=0	
15	X=56	Y=0	
31	X=0	Y=6.5	
45	X=56	Y=6.5	Q=1,15,31,45,1,15
46	X=0	Y=11.5	
60	X=56	Y=11.5	
76	X=0	Y=19.5	
90	X=56	Y=19.5	Q=46,60,76,90,1,15
91	X=0	Y=24.5	
105	X=56	Y=24.5	
121	X=0	Y=32.5	
135	X=56	Y=32.5	Q=91,105,121,135,1,15
136	X=0	Y=37.5	
150	X=56	Y=37.5	
166	X=0	Y=44	
180	X=56	Y=44	Q=136,150,166,180,1,15

:

RESTRAINTS

1,15,1	R=1,1,1,1,1,1
1,166,15	R=1,1,1,1,1,1
166,180,1	R=1,1,1,1,1,1
15,180,15	R=1,1,1,1,1,1
33,43,2	R=1,1,1,1,1,1
48,58,2	R=1,1,1,1,1,1
78,88,2	R=1,1,1,1,1,1
93,103,2	R=1,1,1,1,1,1
123,133,2	R=1,1,1,1,1,1
138,148,2	R=1,1,1,1,1,1
18,28,2	R=1,1,1,1,0,1
32,44,2	R=1,1,1,0,1,1
47,59,2	R=1,1,1,0,1,1
63,73,2	R=1,1,1,1,0,1
77,89,2	R=1,1,1,0,1,1
92,104,2	R=1,1,1,0,1,1
108,118,2	R=1,1,1,1,0,1
122,134,2	R=1,1,1,0,1,1
137,149,2	R=1,1,1,0,1,1
153,163,2	R=1,1,1,1,0,1

:

FRAME

NM=2 NL=21 Z=-1 NSEC=3

C MATERIAL DATA

1	SH=R	T=0.3,0.6	E=2.33E9 W=2400*0.3*0.6	:balok anak
2	SH=R	T=0.5,0.7	E=2.33E9 W=2400*0.5*0.7	:balok induk

C BEBAN MATI

1	WG=0,0,-521.1
2	WG=0,0,-1042.2
3	WG=0,0,-609.6
4	WG=0,0,-1219.2
5	WG=0,0,-641.3
6	WG=0,0,-1282.6
7	WG=0,0,-756.8
8	WG=0,0,-1513.4

9 WG=0,0,-1250.9
 10 WG=0,0,-756.8
 11 WG=0,0,-1513.4
 12 WG=0,0,-1513.4
 C BEBAN HIDUP
 13 WG=0,0,-270.8
 14 WG=0,0,-541.6
 15 WG=0,0,-316.9
 16 WG=0,0,-633.8
 17 WG=0,0,-333.3
 18 WG=0,0,-666.6
 19 WG=0,0,-393.3
 20 WG=0,0,-786.6
 21 WG=0,0,-650.2

PLD=2.5,-1657
 PLD=2.5,-3314
 PLD=2.5,-1657

C BALOK ANAK ARAH X

1,2,1	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=3,15
15,17,16	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=4,16
29,32,31	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=9,21
43,47,46	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,18
57,62,61	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,18
71,77,76	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,18
85,92,91	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,18
99,107,106	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,18
113,122,121	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,18
127,137,136	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=9,21
141,152,151	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=4,16
155,167,166	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=3,15

C BALOK ANAK ARAH Y

169,1,16	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,13
170,2,17	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,14
184,16,31	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,13
185,17,32	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,14
199,31,46	M=2	LP=3,0	G=2,2,2,2	NSL=7,19
200,32,47	M=1	LP=3,0	G=2,2,2,2	NSL=8,20
205,37,52	M=2	LP=3,0		NSL=12,20
206,38,53	M=1	LP=3,0	G=3,2,2,2	NSL=11,20
207,39,54	M=2	LP=3,0	G=2,2,2,2	NSL=11,20
213,45,60	M=2	LP=3,0		NSL=10,19
214,46,61	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,17
215,47,62	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,18
229,61,76	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,19
230,62,77	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,18
244,76,91	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=7,19
245,77,92	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=8,20
259,91,106	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,17
260,92,107	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,18
274,106,121	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,17
275,107,122	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,18
289,121,136	M=2	LP=3,0		NSL=10,19
290,122,137	M=1	LP=3,0	G=4,2,2,2	NSL=11,20
291,123,138	M=2	LP=3,0	G=3,2,2,2	NSL=11,20
299,131,146	M=2	LP=3,0		NSL=12,20
300,132,147	M=1	LP=3,0	G=1,2,2,2	NSL=8,20
301,133,148	M=2	LP=3,0	G=1,2,2,2	NSL=8,20
304,136,151	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,13
305,137,152	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,14
319,151,166	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,13
320,152,167	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,14

:

COMBO

1 C=1.2,1.6	:1.2 DL + 1.6 LL
2 C=1,0	:1.0 DL
3 C=0,1	:1.0 LL

ANALISA BALOK GRID LANTAI 1-2 & 9-10 [KG-M]

AGUS SURYANEGARA

393 310 1278 - SIPIL ITS

SYSTEM

L=2

JOINTS

1	X=0	Y=0	
15	X=56	Y=0	
31	X=0	Y=6.5	
45	X=56	Y=6.5	Q=1,15,31,45,1,15
46	X=0	Y=11.5	
60	X=56	Y=11.5	
76	X=0	Y=19.5	
90	X=56	Y=19.5	Q=46,60,76,90,1,15
91	X=0	Y=24.5	
105	X=56	Y=24.5	
121	X=0	Y=32.5	
135	X=56	Y=32.5	Q=91,105,121,135,1,15
136	X=0	Y=37.5	
150	X=56	Y=37.5	
166	X=0	Y=44	
180	X=56	Y=44	Q=136,150,166,180,1,15

:

RESTRAINTS

1,15,1	R=1,1,1,1,1,1
1,166,15	R=1,1,1,1,1,1
166,180,1	R=1,1,1,1,1,1
15,180,15	R=1,1,1,1,1,1
33,43,2	R=1,1,1,1,1,1
48,58,2	R=1,1,1,1,1,1
78,88,2	R=1,1,1,1,1,1
93,103,2	R=1,1,1,1,1,1
123,133,2	R=1,1,1,1,1,1
138,148,2	R=1,1,1,1,1,1
18,28,2	R=1,1,1,1,0,1
32,44,2	R=1,1,1,0,1,1
47,59,2	R=1,1,1,0,1,1
63,73,2	R=1,1,1,1,0,1
77,89,2	R=1,1,1,0,1,1
92,104,2	R=1,1,1,0,1,1
108,118,2	R=1,1,1,1,0,1
122,134,2	R=1,1,1,0,1,1
137,149,2	R=1,1,1,0,1,1
153,163,2	R=1,1,1,1,0,1

:

FRAME

NM=2 NL=18 Z=-1 NSEC=3

C MATERIAL DATA

1	SH=R	T=0.3,0.6	E=2.33E9 W=2400*0.3*0.6	:balok anak
2	SH=R	T=0.5,0.7	E=2.33E9 W=2400*0.5*0.7	:balok induk

C BEBAN MATI

1	WG=0,0,-521.1
2	WG=0,0,-1042.2
3	WG=0,0,-609.6
4	WG=0,0,-1219.2
5	WG=0,0,-641.3
6	WG=0,0,-1282.6
7	WG=0,0,-756.8
8	WG=0,0,-1513.4

9 WG=0,0,-1250.9

C BEBAN HIDUP

10 WG=0,0,-270.8

11 WG=0,0,-541.6

12 WG=0,0,-316.9

13 WG=0,0,-633.8

14 WG=0,0,-333.3

15 WG=0,0,-666.6

16 WG=0,0,-393.3

17 WG=0,0,-786.6

18 WG=0,0,-650.2

C BALOK ANAK ARAH X

1,2,1	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=3,12
15,17,16	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=4,13
29,32,31	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=9,18
43,47,46	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
57,62,61	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
71,77,76	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
85,92,91	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
99,107,106	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
113,122,121	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=6,15
127,137,136	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=9,18
141,152,151	M=1	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=4,13
155,167,166	M=2	LP=2,0	G=13,1,1,1	NSL=3,12

C BALOK ANAK ARAH Y

169,1,16	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
170,2,17	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11
184,16,31	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
185,17,32	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11
199,31,46	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=7,16
200,32,47	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=8,17
214,46,61	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
215,47,62	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
229,61,76	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
230,62,77	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
244,76,91	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=7,16
245,77,92	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=8,17
259,91,106	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
260,92,107	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
274,106,121	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=5,14
275,107,122	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=6,15
289,121,136	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=7,16
290,122,137	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=8,17
304,136,151	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
305,137,152	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11
319,151,166	M=2	LP=3,0	G=7,2,2,2	NSL=1,10
320,152,167	M=1	LP=3,0	G=6,2,2,2	NSL=2,11

:

COMBO

1 C=1.2,1.6 :1.2 DL + 1.6 LL

2 C=1,0 :1.0 DL

3 C=0,1 :1.0 LL

ANALISA STRUKTUR UTAMA TUNJUNGAN CRYSTAL HOTEL [T-M]
 AGUS SURYANEGARA
 393 310 1278 - SIPIL ITS

SYSTEM

L=3 V=10 T=0.0001

C LOAD CONDITION 1 = BEBAN MATI

C LOAD CONDITION 2 = BEBAN HIDUP

:

JOINTS

C JOINTS DATA SATUAN METER (M)

C ----- JOINTS AS-A -----

1	X=0	Y=0	Z=0	
8	X=56	Y=0	Z=0	
65	X=0	Y=0	Z=3	
72	X=56	Y=0	Z=3	Q=1, 8, 65, 72, 1, 64
129	X=0	Y=0	Z=7	
136	X=56	Y=0	Z=7	
705	X=0	Y=0	Z=43	
712	X=56	Y=0	Z=43	Q=129, 136, 705, 712, 1, 64

C ----- JOINT AS-B -----

9	X=0	Y=6.5	Z=0	
16	X=56	Y=6.5	Z=0	
73	X=0	Y=6.5	Z=3	
80	X=56	Y=6.5	Z=3	Q=9, 16, 73, 80, 1, 64
137	X=0	Y=6.5	Z=7	
144	X=56	Y=6.5	Z=7	
713	X=0	Y=6.5	Z=43	
720	X=56	Y=6.5	Z=43	Q=137, 144, 713, 720, 1, 64

C ----- JOINT AS-C -----

17	X=0	Y=11.5	Z=0	
24	X=56	Y=11.5	Z=0	
81	X=0	Y=11.5	Z=3	
88	X=56	Y=11.5	Z=3	Q=17, 24, 81, 88, 1, 64
145	X=0	Y=11.5	Z=7	
152	X=56	Y=11.5	Z=7	
721	X=0	Y=11.5	Z=43	
728	X=56	Y=11.5	Z=43	Q=145, 152, 721, 728, 1, 64

C ----- JOINT AS-D -----

26	X=8	Y=19.5	Z=0	
31	X=48	Y=19.5	Z=0	
90	X=8	Y=19.5	Z=3	
95	X=48	Y=19.5	Z=3	Q=26, 31, 90, 95, 1, 64
154	X=8	Y=19.5	Z=7	
159	X=48	Y=19.5	Z=7	
730	X=8	Y=19.5	Z=43	
735	X=48	Y=19.5	Z=43	Q=154, 159, 730, 735, 1, 64

C ----- JOINT AS-E -----

34	X=8	Y=24.5	Z=0	
39	X=48	Y=24.5	Z=0	
98	X=8	Y=24.5	Z=3	
103	X=48	Y=24.5	Z=3	Q=34, 39, 98, 103, 1, 64
162	X=8	Y=24.5	Z=7	
167	X=48	Y=24.5	Z=7	
738	X=8	Y=24.5	Z=43	
743	X=48	Y=24.5	Z=43	Q=162, 167, 738, 743, 1, 64

C ----- JOINT AS-F -----

41	X=0	Y=32.5	Z=0	
48	X=56	Y=32.5	Z=0	
105	X=0	Y=32.5	Z=3	

112	X=56	Y=32.5	Z=3	Q=41,48,105,112,1,64
169	X=0	Y=32.5	Z=7	
176	X=56	Y=32.5	Z=7	
745	X=0	Y=32.5	Z=43	
752	X=56	Y=32.5	Z=43	Q=169,176,745,752,1,64
C ----- JOINT AS-G -----				
49	X=0	Y=37.5	Z=0	
56	X=56	Y=37.5	Z=0	
113	X=0	Y=37.5	Z=3	
120	X=56	Y=37.5	Z=3	Q=49,56,113,120,1,64
177	X=0	Y=37.5	Z=7	
184	X=56	Y=37.5	Z=7	
753	X=0	Y=37.5	Z=43	
760	X=56	Y=37.5	Z=43	Q=177,184,753,760,1,64
C ----- JOINT AS-H -----				
57	X=0	Y=44	Z=0	
64	X=56	Y=44	Z=0	
121	X=0	Y=44	Z=3	
128	X=56	Y=44	Z=3	Q=57,64,121,128,1,64
185	X=0	Y=44	Z=7	
192	X=56	Y=44	Z=7	
761	X=0	Y=44	Z=43	
768	X=56	Y=44	Z=43	Q=185,192,761,768,1,64
C ----- JOINT SHELL -----				
769	X=4	Y=19.5	Z=0	
771	X=0	Y=19.5	Z=0	
776	X=4	Y=19.5	Z=3	
778	X=0	Y=19.5	Z=3	Q=769,771,776,778,1,7
783	X=4	Y=19.5	Z=7	
785	X=0	Y=19.5	Z=7	
846	X=4	Y=19.5	Z=43	
848	X=0	Y=19.5	Z=43	Q=783,785,846,848,1,7
772	X=0	Y=22	Z=0	
779	X=0	Y=22	Z=3	
849	X=0	Y=22	Z=43	G=779,849,7
773	X=0	Y=24.5	Z=0	
775	X=4	Y=24.5	Z=0	
780	X=0	Y=24.5	Z=3	
782	X=4	Y=24.5	Z=3	Q=773,775,780,782,1,7
787	X=0	Y=24.5	Z=7	
789	X=4	Y=24.5	Z=7	
850	X=0	Y=24.5	Z=43	
852	X=4	Y=24.5	Z=43	Q=787,789,850,852,1,7
853	X=52	Y=19.5	Z=0	
855	X=56	Y=19.5	Z=0	
860	X=52	Y=19.5	Z=3	
862	X=56	Y=19.5	Z=3	Q=853,855,860,862,1,7
856	X=56	Y=22	Z=0	
857	X=56	Y=24.5	Z=0	
863	X=56	Y=22	Z=3	
864	X=56	Y=24.5	Z=3	Q=856,857,863,864,1,7
858	X=54	Y=24.5	Z=0	
859	X=52	Y=24.5	Z=0	
865	X=54	Y=24.5	Z=3	
866	X=52	Y=24.5	Z=3	Q=858,859,865,866,1,7
867	X=52	Y=19.5	Z=7	
869	X=56	Y=19.5	Z=7	
930	X=52	Y=19.5	Z=43	
932	X=56	Y=19.5	Z=43	Q=867,869,930,932,1,7

870 X=56 Y=22 Z=7
 933 X=56 Y=22 Z=43 G=870,933,7
 871 X=56 Y=24.5 Z=7
 873 X=52 Y=24.5 Z=7
 934 X=56 Y=24.5 Z=43
 936 X=52 Y=24.5 Z=43 Q=871,873,934,936,1,7

C ----- JOINTS MASTER -----

937 X=27.96 Y=21.26 Z=3
 938 X=27.96 Y=21.27 Z=7
 939 X=28.15 Y=21.31 Z=11
 940 X=28.33 Y=21.35 Z=15
 944 X=28.33 Y=21.35 Z=31 G=940,944,1
 945 X=27.96 Y=21.27 Z=35
 946 X=27.96 Y=21.27 Z=39
 947 X=27.97 Y=20.97 Z=43

:

MASSSES

937 M=303.3,303.3,0,0,0,137072.2 :LANTAI 1
 938 M=305.7,305.7,0,0,0,138318.3 :LANTAI 2
 939 M=311.7,311.7,0,0,0,151862.9 :LANTAI 3
 940,944,1 M=317.9,317.9,0,0,0,165852.8 :LANTAI 4 s/d 8
 945 M=305.7,305.7,0,0,0,138318.3 :LANTAI 9
 946 M=305.7,305.7,0,0,0,138318.3 :LANTAI 10
 947 M=218.1,218.1,0,0,0,98982.5 :LANTAI ATAP

:

RESTRAINTS

1,64,1 R=1,1,1,1,1,1
 769,775,1 R=1,1,1,1,1,1
 853,859,1 R=1,1,1,1,1,1
 937,947,1 R=0,0,1,1,1,0 :MASTER OF JOINTS
 776,852,1 R=1,1,0,0,0,1 :DEPENDENT JOINTS THDP. MASTER OF JOINTS
 860,936,1 R=1,1,0,0,0,1 :DEPENDENT JOINTS THDP. MASTER OF JOINTS
 65,768,1 R=1,1,0,0,0,1 :DEPENDENT JOINTS THDP. MASTER OF JOINTS
 602,610,8 R=0,1,0,0,0,1 :JOINTS BALOK PRATEKAN
 666,674,8 R=0,1,0,0,0,1 :JOINTS BALOK PRATEKAN
 730,738,8 R=0,1,0,0,0,1 :JOINTS BALOK PRATEKAN
 604,612,8 R=0,1,0,0,0,1 :JOINTS BALOK PRATEKAN
 668,676,8 R=0,1,0,0,0,1 :JOINTS BALOK PRATEKAN
 732,740,8 R=0,1,0,0,0,1 :JOINTS BALOK PRATEKAN

:

SHELL

NM=1 P=-1 Z=-1

1 E=2.33E6 W=2.4

1 JQ=769,770,776,777 M=1 ETYPE=0 TH=0.3 G=2,11
 23 JQ=771,772,778,779 M=1 ETYPE=0 TH=0.3 G=2,11
 55 JQ=773,774,780,781 M=1 ETYPE=0 TH=0.3 G=2,11
 77 JQ=853,854,860,861 M=1 ETYPE=0 TH=0.3 G=2,11
 99 JQ=855,856,862,863 M=1 ETYPE=0 TH=0.3 G=2,11
 121 JQ=857,858,864,865 M=1 ETYPE=0 TH=0.3 G=2,11

:

POTENTIAL

C ----- BEBAN MATI -----

776,778,1 P=0.96,0.96
 780,782,1 P=0.96,0.96
 860,862,1 P=0.96,0.96
 864,866,1 P=0.96,0.96
 783,785,1 P=0.96,0.96
 787,789,1 P=0.96,0.96
 867,869,1 P=0.96,0.96

871,873,1	P=0.96,0.96
790,792,1	P=0.96,0.96
794,796,1	P=0.96,0.96
874,876,1	P=0.96,0.96
878,880,1	P=0.96,0.96
797,799,1	P=0.96,0.96
801,803,1	P=0.96,0.96
881,883,1	P=0.96,0.96
885,887,1	P=0.96,0.96
804,806,1	P=0.96,0.96
808,810,1	P=0.96,0.96
888,890,1	P=0.96,0.96
892,894,1	P=0.96,0.96
811,813,1	P=0.96,0.96
815,817,1	P=0.96,0.96
895,897,1	P=0.96,0.96
899,901,1	P=0.96,0.96
818,820,1	P=0.96,0.96
822,824,1	P=0.96,0.96
902,904,1	P=0.96,0.96
906,908,1	P=0.96,0.96
825,827,1	P=0.96,0.96
829,831,1	P=0.96,0.96
909,911,1	P=0.96,0.96
913,915,1	P=0.96,0.96
832,834,1	P=0.96,0.96
836,838,1	P=0.96,0.96
916,918,1	P=0.96,0.96
920,922,1	P=0.96,0.96
839,841,1	P=0.96,0.96
843,845,1	P=0.96,0.96
923,925,1	P=0.96,0.96
927,929,1	P=0.96,0.96
846,848,1	P=0.67,0.67
850,852,1	P=0.67,0.67
930,932,1	P=0.67,0.67
934,936,1	P=0.67,0.67

C ----- BEBAN HIDUP -----

776,778,1	P=1,1
780,782,1	P=1,1
860,862,1	P=1,1
864,866,1	P=1,1
783,785,1	P=1,1
787,789,1	P=1,1
867,869,1	P=1,1
871,873,1	P=1,1
790,792,1	P=1,1
794,796,1	P=1,1
874,876,1	P=1,1
878,880,1	P=1,1
797,799,1	P=1,1
801,803,1	P=1,1
881,883,1	P=1,1
885,887,1	P=1,1
804,806,1	P=1,1
808,810,1	P=1,1
888,890,1	P=1,1
892,894,1	P=1,1
811,813,1	P=1,1

815,817,1	P=1,1
895,897,1	P=1,1
899,901,1	P=1,1
818,820,1	P=1,1
822,824,1	P=1,1
902,904,1	P=1,1
906,908,1	P=1,1
825,827,1	P=1,1
829,831,1	P=1,1
909,911,1	P=1,1
913,915,1	P=1,1
832,834,1	P=1,1
836,838,1	P=1,1
916,918,1	P=1,1
920,922,1	P=1,1
839,841,1	P=1,1
843,845,1	P=1,1
923,925,1	P=1,1
927,929,1	P=1,1
846,848,1	P=0.48,0.48
850,852,1	P=0.48,0.48
930,932,1	P=0.48,0.48
934,936,1	P=0.48,0.48

:

LOADS

C ----- BEBAN MATI -----

776,839,7	F=0,0,-6.58	L=1
782,845,7	F=0,0,-6.58	L=1
860,923,7	F=0,0,-6.58	L=1
866,929,7	F=0,0,-6.58	L=1
846,852,6	F=0,0,-5.06	L=1
930,936,6	F=0,0,-5.06	L=1

C ----- BEBAN HIDUP -----

776,839,7	F=0,0,-2.56	L=2
782,845,7	F=0,0,-2.56	L=2
860,923,7	F=0,0,-2.56	L=2
866,929,7	F=0,0,-2.56	L=2
846,852,6	F=0,0,-1.23	L=2
930,936,6	F=0,0,-1.23	L=2

:

FRAME

NM=3 NL=46 Z=-1 NSEC=3 P=-1

1	SH=R	T=0.8,0.8	E=2.33E6	W=0.8*0.8*2.4	: KOLOM
2	SH=R	T=0.5,0.9	E=2.73E6	W=0.5*0.9*2.4	: BALOK PRATEKAN
3	SH=R	T=0.5,0.7	E=2.33E6	W=0.5*0.7*2.4	: BALOK INDUK

C ----- PEMBEBANAN PADA BALOK -----

C ----- BEBAN MATI LANTAI -----

1	WG=0,0,-1.76	PLD=4,-11.4,0,8,-11.4,0,12,-11.4,0	: PRATEKAN
2	WG=0,0,-1.56	PLD=3.25,-5.4,0	: 1 segitiga
3	WG=0,0,-3.13	PLD=3.25,-10.8,0	: 2 segitiga
4	WG=0,0,-1.22	PLD=4,-6.2,0	: 1 trap
5	WG=0,0,-2.27	PLD=4,-10.5,0	: 2 trap
6	WG=0,0,-1.2		: 1 segitiga
7	WG=0,0,-2.4		: 2 segitiga
8	WG=0,0,-1.92	PLD=4,-7.1,0	: 1 segitiga
9	WG=0,0,-3.85	PLD=4,-14.2,0	: 2 segitiga
10	WG=0,0,-2.97	PLD=4,-11.5,0	: trap+segitiga
11	WG=0,0,-1.9		

C ----- BEBAN MATI ATAP -----

12	WG=0,0,-1.22	PLD=4,-8.7,0,8,-8.7,0,12,-8.7,0	:PRATEKAN
13	WG=0,0,-1.08	PLD=3.25,-4.2,0	:1 segitiga
14	WG=0,0,-2.16	PLD=3.25,-8.4,0	:2 segitiga
15	WG=0,0,-0.84	PLD=4,-4.8,0	:1 trap
16	WG=0,0,-1.56	PLD=4,-8.1,0	:2 trap
17	WG=0,0,-0.83		:1 segitiga
18	WG=0,0,-1.66		:2 segitiga
19	WG=0,0,-1.3	PLD=4,-5.5,0	:1 segitiga
20	WG=0,0,-2.6	PLD=4,-11,0	:2 segitiga
21	WG=0,0,-2.02	PLD=4,-8.8,0	:trap+segitiga
22	WG=0,0,-1.3		

C ----- BEBAN HIDUP LANTAI -----

23	WG=0,0,-0.92	PLD=4,-4.6,0,8,-4.6,0,12,-4.6,0	:PRATEKAN
24	WG=0,0,-0.81	PLD=3.25,-2,0	:1 segitiga
25	WG=0,0,-1.62	PLD=3.25,-4,0	:2 segitiga
26	WG=0,0,-0.63	PLD=4,-2.3,0	:1 trap
27	WG=0,0,-1.17	PLD=4,-4.2,0	:2 trap
28	WG=0,0,-0.63		:1 segitiga
29	WG=0,0,-1.26		:2 segitiga
30	WG=0,0,-1.0	PLD=4,-2.8,0	:1 segitiga
31	WG=0,0,-2.0	PLD=4,-5.6,0	:2 segitiga
32	WG=0,0,-1.54	PLD=4,-4.6,0	:trap+segitiga
33	WG=0,0,-1		

C ----- BEBAN HIDUP ATAP -----

34	WG=0,0,-0.44	PLD=4,-2.2,0,8,-2.2,0,12,-2.2,0	:PRATEKAN
35	WG=0,0,-0.39	PLD=3.25,-1,0	:1 segitiga
36	WG=0,0,-0.78	PLD=3.25,-2,0	:2 segitiga
37	WG=0,0,-0.3	PLD=4,-1.1,0	:1 trap
38	WG=0,0,-0.56	PLD=4,-2,0	:2 trap
39	WG=0,0,-0.3		:1 segitiga
40	WG=0,0,-0.6		:2 segitiga
41	WG=0,0,-0.48	PLD=4,-1.3,0	:1 segitiga
42	WG=0,0,-0.96	PLD=4,-2.7,0	:2 segitiga
43	WG=0,0,-0.74	PLD=4,-2.2,0	:trap+segitiga
44	WG=0,0,-0.5		

C ----- BEBAN MATI LANTAI ADA BEBAN TEMBOK -----

45	WG=0,0,-2.27	PLD=4,-12.2,0	:2 trap
46	WG=0,0,-2.97	PLD=4,-13.2,0	:trap+segitiga

C ----- BALOK LT1-ARAH X -----

57,66,65	M=3	MS=937,937	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
64,74,73	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
71,82,81	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
79,91,90	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
86,99,98	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
92,106,105	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
99,114,113	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
106,122,121	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
78,90,776	M=3		LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
84,860,95	M=3		LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33

C ----- BALOK LT2-ARAH X -----

113,130,129	M=3	MS=938,938	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
120,138,137	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
127,146,145	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
135,155,154	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
142,163,162	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
148,170,169	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
155,178,177	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
162,186,185	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
134,154,783	M=3		LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33

140,867,159	M=3	LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT3-ARAH X -----				
169,194,193	M=3 MS=939,939	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
176,202,201	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=5,27
179,205,204	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=45,27
183,210,209	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
186,213,212	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=46,32
191,219,218	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
198,227,226	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
209,239,238	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=10,32
204,234,233	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=46,32
211,242,241	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=45,27
216,247,246	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=5,27
218,250,249	M=3	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
190,218,790	M=3	LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
196,874,223	M=3	LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT4-ARAH X -----				
225,258,257	M=3 MS=940,940	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
232,266,265	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=5,27
235,269,268	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=45,27
239,274,273	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
242,277,276	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=46,32
247,283,282	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
254,291,290	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
260,298,297	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=46,32
265,303,302	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=10,32
267,306,305	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=45,27
272,311,310	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=5,27
274,314,313	M=3	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
246,282,797	M=3	LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
252,881,287	M=3	LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT5-ARAH X -----				
281,322,321	M=3 MS=941,941	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
288,330,329	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=5,27
291,333,332	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=45,27
295,338,337	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
298,341,340	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=46,32
303,347,346	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
310,355,354	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
316,362,361	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=46,32
321,367,366	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=10,32
323,370,369	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=45,27
328,375,374	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=5,27
330,378,377	M=3	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
302,346,804	M=3	LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
308,888,351	M=3	LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT6-ARAH X -----				
337,386,385	M=3 MS=942,942	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
344,394,393	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=5,27
347,397,396	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=45,27
351,402,401	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
354,405,404	M=3	LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=46,32
359,411,410	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
366,419,418	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
372,426,425	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=46,32
377,431,430	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=10,32
379,434,433	M=3	LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=45,27
384,439,438	M=3	LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=10,27
386,442,441	M=3	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26

358,410,811	M=3		LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
364,895,415	M=3		LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT7-ARAH X -----					
393,450,449	M=3	MS=943,943	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
400,458,457	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=5,27
403,461,460	M=3		LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=45,27
407,466,465	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
410,469,468	M=3		LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=46,32
415,475,474	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
422,483,482	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
428,490,489	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=46,32
433,495,494	M=3		LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=10,32
435,498,497	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=45,27
440,503,502	M=3		LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=5,27
442,506,505	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
414,474,818	M=3		LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
420,902,479	M=3		LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT8-ARAH X -----					
449,514,513	M=3	MS=944,944	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
456,522,521	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=5,27
459,525,524	M=3		LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=45,27
463,530,529	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
466,533,532	M=3		LP=2,0	G=3,1,1,1	NSL=46,32
471,539,538	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
478,547,546	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=10,32
484,554,553	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=46,32
489,559,558	M=3		LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=10,32
491,562,561	M=3		LP=2,0	G=4,1,1,1	NSL=45,27
496,567,566	M=3		LP=2,0	G=1,1,1,1	NSL=5,27
498,570,569	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
470,538,825	M=3		LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
476,909,543	M=3		LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT9-ARAH X -----					
505,578,577	M=3	MS=945,945	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
512,586,585	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
519,594,593	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
529,605,604	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
536,613,612	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
540,618,617	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
547,626,625	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
554,634,633	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
526,602,832	M=3		LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
532,916,607	M=3		LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT10-ARAH X -----					
601,642,641	M=3	MS=946,946	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
608,650,649	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
615,658,657	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
625,669,668	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
632,677,676	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=10,32
636,682,681	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=10,32
643,690,689	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=5,27
650,698,697	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=4,26
622,666,839	M=3		LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=11,33
628,923,671	M=3		LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=11,33
C ----- BALOK LT11-ARAH X -----					
657,706,705	M=3	MS=947,947	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=15,37
664,714,713	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=16,38
671,722,721	M=3		LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=21,43
681,733,732	M=3		LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=21,43

688,741,740	M=3	LP=2,0	G=2,1,1,1	NSL=21,43
692,746,745	M=3	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=21,43
699,754,753	M=3	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=16,38
706,762,761	M=3	LP=2,0	G=6,1,1,1	NSL=15,37
678,730,846	M=3	LP=2,0	G=1,7,8,6	NSL=22,44
684,930,735	M=3	LP=2,0	G=1,7,6,8	NSL=22,44

C ----- BALOK LT1-ARAH Y -----

769,65,73	M=3	MS=937,937	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
770,66,74	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
777,73,81	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
778,74,82	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
785,81,778	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
786,82,90	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
794,90,98	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
801,780,105	M=3		LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
802,98,106	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
809,105,113	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
810,106,114	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
817,113,121	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
818,114,122	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27

C ----- BALOK LT2-ARAH Y -----

825,129,137	M=3	MS=938,938	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
826,130,138	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
833,137,145	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
834,138,146	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
841,145,785	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
842,146,154	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
850,154,162	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
857,787,169	M=3		LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
858,162,170	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
865,169,177	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
866,170,178	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
873,177,185	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
874,178,186	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27

C ----- BALOK LT3-ARAH Y -----

881,193,201	M=3	MS=939,939	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
882,194,202	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
889,201,209	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
890,202,210	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
897,209,792	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
898,210,218	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
906,218,226	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
913,794,233	M=3		LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
914,226,234	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
921,233,241	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
922,234,242	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
929,241,249	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
930,242,250	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27

C ----- BALOK LT4-ARAH Y -----

937,257,265	M=3	MS=940,940	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
938,258,266	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
945,265,273	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
946,266,274	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
953,273,799	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
954,274,282	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
962,282,290	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
969,801,297	M=3		LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
970,290,298	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
977,297,305	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30

978,298,306	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
985,305,313	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
986,306,314	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
C ----- BALOK LT5-ARAH Y -----				
993,321,329	M=3 MS=941,941	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
994,322,330	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
1001,329,337	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1002,330,338	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1009,337,806	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
1010,338,346	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1018,346,354	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1025,808,361	M=3	LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
1026,354,362	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1033,361,369	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1034,362,370	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1041,369,377	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1042,370,378	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
C ----- BALOK LT6-ARAH Y -----				
1049,385,393	M=3 MS=942,942	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1050,386,394	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
1057,393,401	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1058,394,402	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1065,401,813	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
1066,402,410	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1074,410,418	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1081,815,425	M=3	LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
1082,418,426	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1089,425,433	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1090,426,434	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1097,433,441	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1098,434,442	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
C ----- BALOK LT7-ARAH Y -----				
1105,449,457	M=3 MS=943,943	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1106,450,458	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
1113,457,465	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1114,458,466	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1121,465,820	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
1122,466,474	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1130,474,482	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1137,822,489	M=3	LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
1138,482,490	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1145,489,497	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1146,490,498	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1153,497,505	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1154,498,506	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
C ----- BALOK LT8-ARAH Y -----				
1161,513,521	M=3 MS=944,944	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1162,514,522	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
1169,521,529	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1170,522,530	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1177,529,827	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
1178,530,538	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1186,538,546	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1193,829,553	M=3	LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
1194,546,554	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1201,553,561	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1202,554,562	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1209,561,569	M=3	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1210,562,570	M=3	LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27

C ----- BALOK LT9-ARAH Y -----					
1217,577,585	M=3	MS=945,945	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1218,578,586	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
1225,585,593	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1226,586,594	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1233,593,834	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
1234,594,602	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1242,602,610	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1249,836,617	M=3		LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
1250,610,618	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1257,617,625	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1258,618,626	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1265,625,633	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1266,626,634	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
C ----- BALOK LT10-ARAH Y -----					
1273,641,649	M=3	MS=946,946	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1274,642,650	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
1281,649,657	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1282,650,658	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1289,657,841	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=8,32
1290,658,666	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1298,666,674	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1305,843,681	M=3		LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=8,32
1306,674,682	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=9,34
1313,681,689	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=6,30
1314,682,690	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=7,31
1321,689,697	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=2,26
1322,690,698	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=3,27
C ----- BALOK LT11-ARAH Y -----					
1329,705,713	M=3	MS=947,947	LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=14,38
1330,706,714	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=15,39
1337,713,721	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=18,42
1338,714,722	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=19,43
1345,721,848	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,84	NSL=20,45
1346,722,730	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=21,46
1354,730,738	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=19,43
1361,850,745	M=3		LP=3,0	G=1,7,84,7	NSL=20,45
1362,738,746	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=21,46
1369,745,753	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=18,42
1370,746,754	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=19,43
1377,753,761	M=3		LP=3,0	G=1,7,7,7	NSL=14,38
1378,754,762	M=3		LP=3,0	G=5,1,1,1	NSL=15,39
C ----- KOLOM LT BASEMENT-1 -----					
1385,1,65	M=1	MS=0,937	LP=2,0	G=7,1,1,1	
1393,9,73	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
1401,17,81	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
1409,26,90	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1	
1417,34,98	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1	
1423,41,105	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
1431,49,113	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
1439,57,121	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
C ----- KOLOM LT 1-2 -----					
1447,65,129	M=1	MS=937,938	LP=2,0	G=7,1,1,1	
1455,73,137	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
1463,81,145	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
1471,90,154	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1	
1477,98,162	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1	
1483,105,169	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	
1491,113,177	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1	

1499,121,185	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
C		KOLOM LT 2-3		
1507,129,193	M=1	MS=938,939	LP=2,0	G=7,1,1,1
1515,137,201	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1523,145,209	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1531,154,218	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1537,162,226	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1543,169,233	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1551,177,241	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1559,185,249	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
C		KOLOM LT 3-4		
1567,193,257	M=1	MS=939,940	LP=2,0	G=7,1,1,1
1585,201,265	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1593,209,273	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1601,218,282	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1607,226,290	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1613,233,297	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1621,241,305	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1629,249,313	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
C		KOLOM LT 4-5		
1637,257,321	M=1	MS=940,941	LP=2,0	G=7,1,1,1
1645,265,329	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1653,273,337	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1661,282,346	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1667,290,354	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1673,297,361	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1681,305,369	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1689,313,377	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
C		KOLOM LT 5-6		
1697,321,385	M=1	MS=941,942	LP=2,0	G=7,1,1,1
1705,329,393	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1713,337,401	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1721,346,410	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1727,354,418	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1733,361,425	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1741,369,433	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1749,377,441	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
C		KOLOM LT 6-7		
1757,385,449	M=1	MS=942,943	LP=2,0	G=7,1,1,1
1765,393,457	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1773,401,465	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1781,410,474	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1787,418,482	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1793,425,489	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1801,433,497	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1809,441,505	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
C		KOLOM LT 7-8		
1817,449,513	M=1	MS=943,944	LP=2,0	G=7,1,1,1
1825,457,521	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1833,465,529	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1841,474,538	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1847,482,546	M=1		LP=2,0	G=5,1,1,1
1853,489,553	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1861,497,561	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1869,505,569	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
C		KOLOM LT 8-9		
1877,513,577	M=1	MS=944,945	LP=2,0	G=7,1,1,1
1885,521,585	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1893,529,593	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1

1901,538,602	M=1	LP=2,0	G=1,5,8,8
1902,540,604	M=1	LP=2,0	G=3,1,1,1
1907,548,612	M=1	LP=2,0	G=3,1,1,1
1911,553,617	M=1	LP=2,0	G=7,1,1,1
1919,561,625	M=1	LP=2,0	G=7,1,1,1
1927,569,633	M=1	LP=2,0	G=7,1,1,1

C ----- KOLOM LT 9-10 -----

1935,577,641	M=1	MS=945,946	LP=2,0	G=7,1,1,1
1943,585,649	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1951,593,657	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1959,602,666	M=1		LP=2,0	G=1,5,8,8
1960,604,668	M=1		LP=2,0	G=3,1,1,1
1965,612,676	M=1		LP=2,0	G=3,1,1,1
1969,617,681	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1977,625,689	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
1985,633,697	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1

C ----- KOLOM LT 10-ATAP -----

1993,641,705	M=1	MS=946,947	LP=2,0	G=7,1,1,1
2001,649,713	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
2009,657,721	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
2017,666,730	M=1		LP=2,0	G=1,5,8,8
2018,668,732	M=1		LP=2,0	G=3,1,1,1
2023,676,740	M=1		LP=2,0	G=3,1,1,1
2028,681,745	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
2036,689,753	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1
2044,697,761	M=1		LP=2,0	G=7,1,1,1

C ----- BALOK PRATEKAN LANTAI 9 -----

527,604,602	M=2	MS=945,945	LP=2,0	NSL=1,21
534,612,610	M=2	MS=945,945	LP=2,0	NSL=1,21

C ----- BALOK PRATEKAN LANTAI 10 -----

623,668,666	M=2	MS=946,946	LP=2,0	NSL=1,21
630,676,674	M=2	MS=946,946	LP=2,0	NSL=1,21

C ----- BALOK PRATEKAN LANTAI ATAP -----

679,732,730	M=2	MS=947,947	LP=2,0	NSL=11,31
686,740,738	M=2	MS=947,947	LP=2,0	NSL=11,31

:

PRESTRESS

527,534,7	D=0.218,-0.432,0.218	T=278.21
623,630,7	D=0.218,-0.432,0.218	T=278.21
679,686,7	D=0.218,-0.432,0.218	T=209.62

:

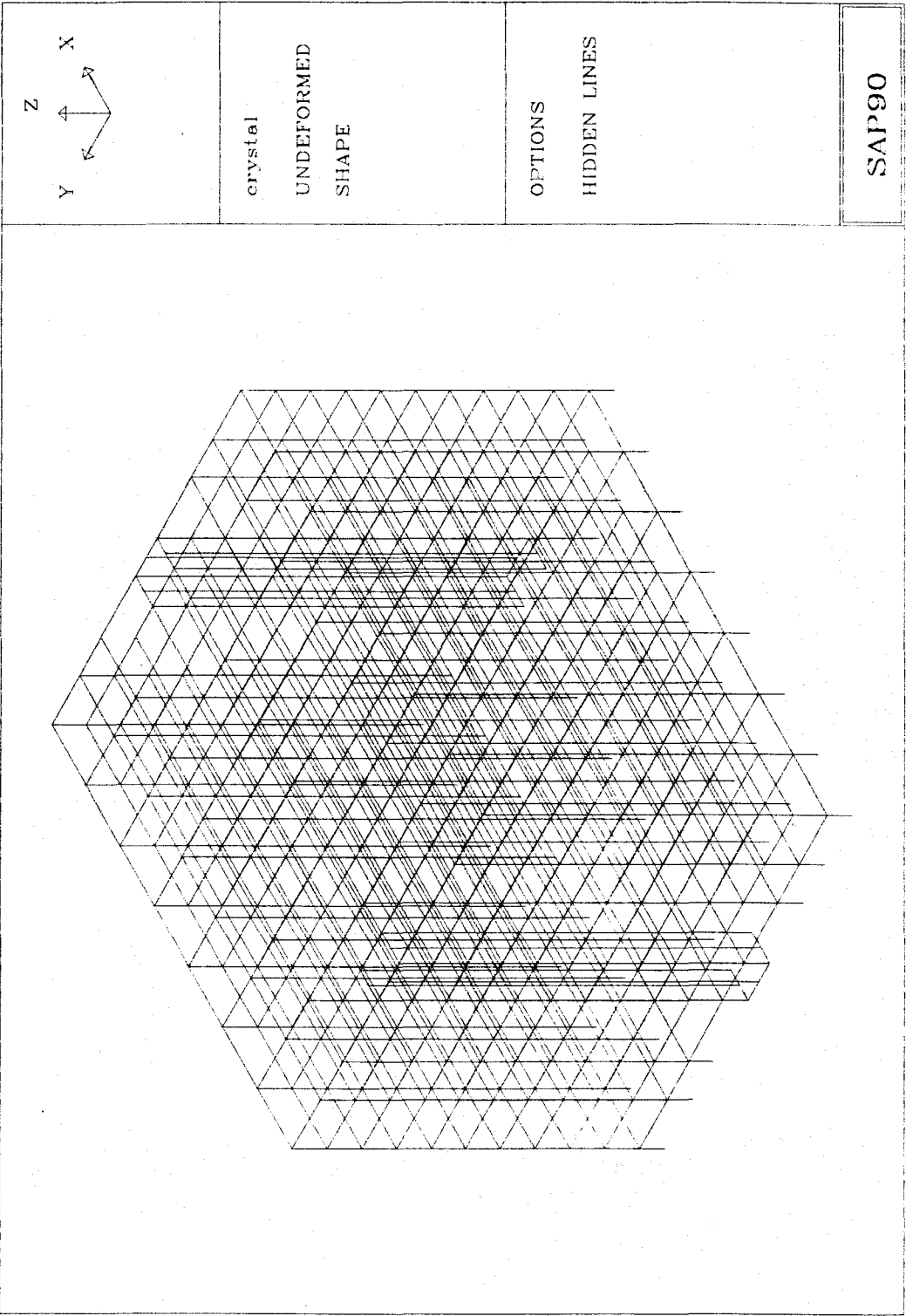
SPEC

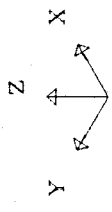
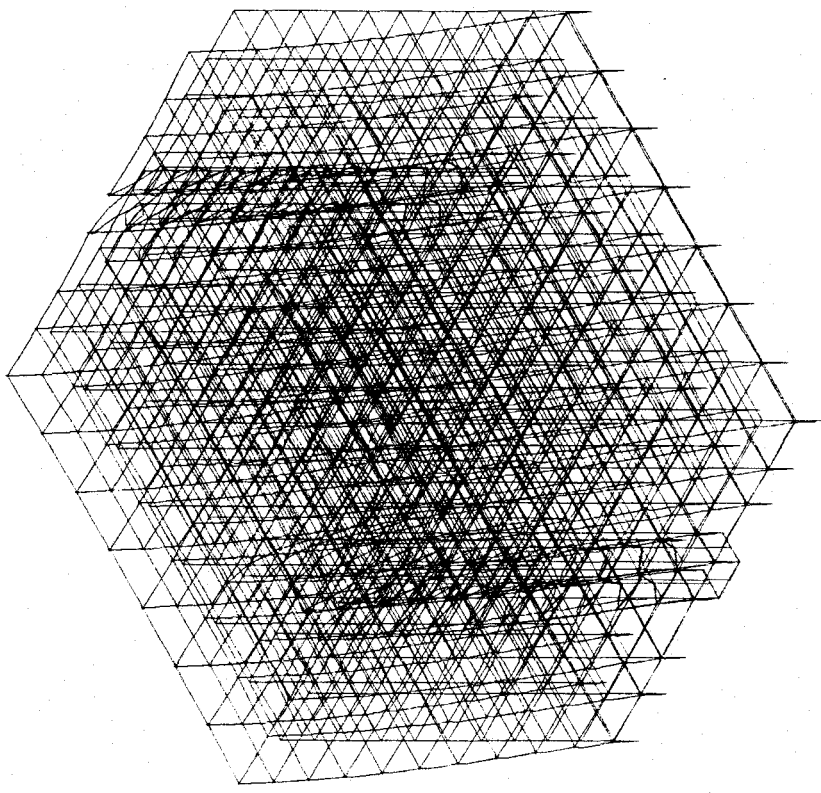
A=90	S=9.81	D=0.05
0	0.05	0.05*0.3
0.5	0.05	0.05*0.3
1	0.05	0.05*0.3
2	0.0375	0.0375*0.3
3	0.025	0.025*0.3

:

COMBO

1	C=1.2,0	D=0	:1.2 DL
2	C=0,1.6	D=0	:1.6 LL
3	C=1.2,1.6	D=0	:1.2 DL + 1.6 LL
4	C=1.05,1.05*0.75	D=2.1	:1.05 (DL + Lr + 2E)
5	C=1.05,1.05*0.75	D=-2.1	:1.05 (DL + Lr - 2E)
6	C=1,0	D=0	:1.0 DL

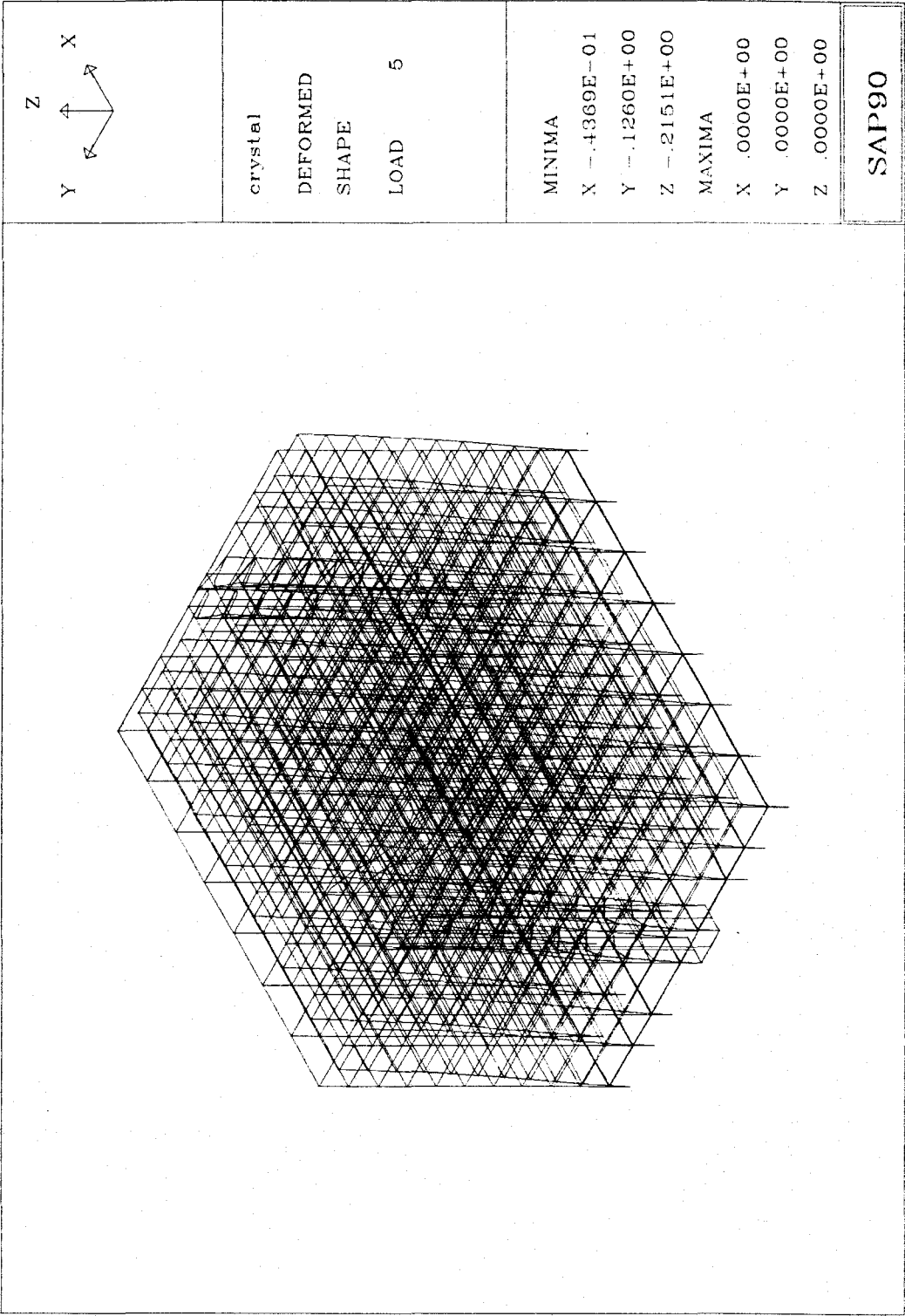




crystal
DEFORMED
SHAPE
LOAD 4

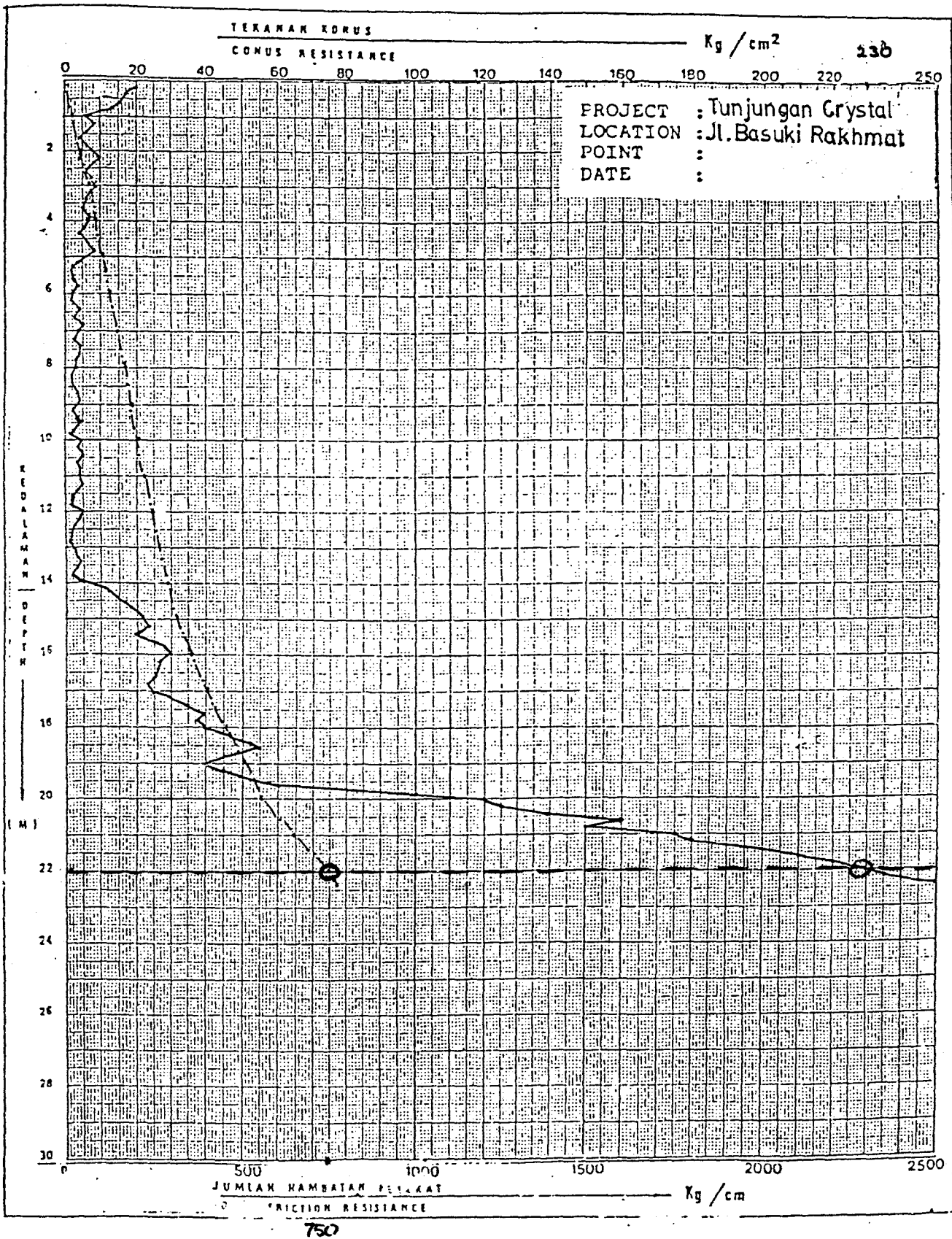
MINIMA
X .0000E+00
Y .0000E+00
Z -.2099E+00
MAXIMA
X .4333E-01
Y .1276E+00
Z .0000E+00

SAP90





DUTCH CONE
PENETROMETER TEST



WIKA PILE CLASSIFICATION

No.	Pile Diameter (mm)	Thick (mm)	Class	PC WIRE		Area of steel (Cm ²)	Area of Concrete (Cm ²)	Section Modulus (Cm ³)	Effective Prestress (Kgf/Cm ²)	Allowable Axial (T)	Bending Moment	
				D (mm)	Numb						Crack (tf.m)	Ult (tf.m)
1	350	70	A1	7	8	3.08	615.75	3711.17	46.74	92.15	3.50	5.25
			A3	7	12	4.62	615.75	3734.91	66.67	88.89	4.20	6.30
			B	7	16	6.16	615.75	3758.65	84.46	85.97	5.00	9.00
			C	9	12	7.63	615.75	3781.43	100.95	83.26	6.00	12.00
2	400	75	A2	7	12	4.62	765.77	5405.79	55.25	112.87	5.50	8.25
			A3	7	16	6.16	765.77	5432.93	70.73	109.71	6.50	9.75
			B	9	12	7.63	765.77	5458.95	80.16	107.79	7.50	13.50
				7	20	7.70	765.77	5460.06	84.84	106.83	7.50	13.50
			C	9	16	10.18	765.77	5503.81	105.53	102.62	9.00	18.00
3	450	80	A1	7	12	4.62	929.91	7499.79	46.49	139.23	7.50	11.25
			A2	7	16	6.16	929.91	7532.03	59.97	135.90	8.50	12.75
			A3	9	12	7.63	929.91	7562.96	67.46	134.04	10.00	15.00
				7	20	7.70	929.91	7564.27	72.49	132.79	10.00	15.00
			B	7	24	9.24	929.91	7596.51	84.08	129.92	11.00	19.80
			C	9	20	12.72	929.91	7669.56	108.62	123.85	12.50	25.00
4	500	90	A1	7	16	6.16	1159.25	10362.44	49.45	172.66	10.50	15.75
			A2	7	20	7.70	1159.25	10399.83	60.19	169.34	12.50	18.75
				9	12	7.63	1159.25	10398.31	56.02	170.63	12.50	18.75
			A3	7	24	9.24	1159.25	10437.22	70.32	166.21	14.00	21.00
				7	28	10.78	1159.25	10474.61	80.48	163.08	15.00	27.00
			C	9	24	15.27	1159.25	10583.74	104.56	155.64	17.00	34.00
5	600	100	A1	7	20	7.70	1570.80	17255.62	46.00	235.40	17.00	25.50
			A2	7	24	9.24	1570.80	17303.38	54.13	232.00	19.00	28.50
			A3	9	20	12.72	1570.80	17411.58	66.82	226.69	22.00	33.00
				7	32	12.32	1570.80	17398.90	69.38	225.62	22.00	33.00
			B	9	24	15.27	1570.80	17490.53	80.13	221.12	25.00	45.00
			✓ C	9	32	20.36	1570.80	17648.44	102.89	211.60	29.00	58.00

Notes :

1. Piles generally comply to JIS A 5335 - 1987 and modified to suit ACI 543 - 1979 & P.B.I 71.
2. Specified Concrete cube Compressive strength is 600 Kg/cm² at 28 days.
3. Allowable axial load is applicable to pile acting as a short strut.

COLUMNS 7.2.3—Load-moment strength interaction diagram for R4-40.75 columns

References: ACI 318-83, Sections 9.3.2.2, 10.2, and 10.3; ACI Publication SP-7, pp. 152–182

